

Université de Montréal

**Conception, élaboration et mise à l'essai d'un simulateur
interactif permettant une approche modélisante :
application aux lois de la génétique mendélienne.**

par

Abdel-Halim LASRI

Département de didactique
Faculté des Sciences de l'Éducation

Thèse présentée à la Faculté des Études Supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiæ Doctor (Ph. D)
en didactique des sciences

septembre, 1996

© Abdel-Halim LASRI, 1996





National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*

Our file *Notre référence*

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-26801-2

Identification du jury

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée :

**Conception, élaboration et mise à l'essai d'un simulateur
interactif permettant une approche modélisante :
application aux lois de la génétique mendélienne.**

Présentée par
Abdel-Halim LASRI

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Madame Marcienne Lévesque  Présidente du jury

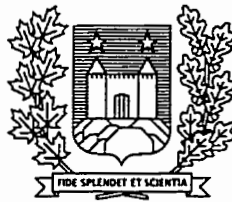
Monsieur Pierre Nonnon  Directeur de recherche

Monsieur Yves Giraud  Membre du jury

Monsieur Abdeljalil Métoui  Examineur externe

Madame Anne Bruneau  Représentante du doyen

Thèse acceptée le : 25 avril 1997



Université de Montréal

Bibliothèque



SOMMAIRE

Dans cette recherche-développement, nous avons conçu, développé et mis à l'essai un simulateur interactif pour favoriser l'apprentissage des lois probabilistes impliquées dans la génétique mendélienne. Cet environnement informatisé devra permettre aux étudiants de mener des expériences simulées, utilisant les statistiques et les probabilités comme outils mathématiques pour modéliser le phénomène de la transmission des caractères héréditaires.

L'approche didactique est essentiellement orientée vers l'utilisation des méthodes quantitatives impliquées dans l'expérimentation des facteurs héréditaires. En incorporant au simulateur le principe de la "Lunette cognitive" de Nonnon (1986), l'étudiant fut placé dans une situation où il a pu synchroniser la perception de la représentation iconique (concrète) et symbolique (abstraite) des lois probabilistes de Mendel. À l'aide de cet environnement, nous avons amené l'étudiant à identifier le(s) caractère(s) héréditaire(s) des parents à croiser, à prédire les fréquences phénotypiques probables de la descendance issue du croisement, à observer les résultats statistiques et leur fluctuation au niveau de l'histogramme des fréquences, à comparer ces résultats aux prédictions anticipées, à interpréter les données et à sélectionner en conséquence d'autres expériences à réaliser. Les étapes de l'approche inductive sont privilégiées du début à la fin des activités proposées.

L'élaboration, du simulateur et des documents d'accompagnement, a été conçue à partir d'une vingtaine de principes directeurs et d'un modèle d'action. Ces principes directeurs et le modèle d'action découlent de considérations théoriques psychologiques, didactiques et technologiques. La recherche décrit la structure des différentes parties composant le simulateur. L'architecture de celui-ci est construite autour d'une unité centrale, la "*Principale*", dont les liens et les ramifications avec les autres unités confère à l'ensemble du simulateur sa souplesse et sa facilité d'utilisation.

Le simulateur "*Génétique*", à l'état de prototype, et la documentation qui lui est afférente ont été soumis à deux mises à l'essai : l'une fonctionnelle, l'autre empirique.

La mise à l'essai fonctionnelle, menée auprès d'un groupe d'enseignants experts, a permis d'identifier les lacunes du matériel élaboré afin de lui apporter les réajustements qui s'imposaient. La mise à l'essai empirique, conduite par un groupe de onze (11) étudiants de niveau secondaire, avait pour but, d'une part, de tester la facilité d'utilisation du simulateur "*Génétique*" ainsi que les documents d'accompagnement et, d'autre part, de vérifier si les participants tiraient des avantages pédagogiques de cet environnement. Trois techniques furent exploitées pour récolter les données de la mise à l'essai empirique.

L'analyse des résultats a permis de faire un retour critique sur les productions concrètes de cette recherche et d'apporter les modifications nécessaires tant au simulateur qu'aux documents d'accompagnement. Cette analyse a permis également de conclure que notre simulateur interactif favorise une approche inductive permettant aux étudiants de s'approprier les lois probabilistes de Mendel. Enfin, la conclusion dégage des pistes de recherches destinées aux études ultérieures, plus particulièrement celles qui s'intéressent à développer des simulateurs, afin d'intégrer à ceux-ci des représentations concrètes et abstraites présentées en temps réel.

Les disquettes du simulateur "*Génétique*" et les documents d'accompagnement sont annexés à la présente recherche.

Mots clés : Simulation, modélisation, génétique mendélienne, méthode expérimentale, ordinateur.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE	6
1.1. Importance de l'étude par rapport à la didactique des sciences.....	7
1.2. Analyse contextuelle de l'enseignement des sciences au Maroc	10
1.3. Enseignement de la génétique au secondaire marocain.....	14
1.4. Utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences	21
1.5. Proposition d'un simulateur interactif.....	23
1.6. But et objectifs de l'étude.....	25
1.7. Cadre conceptuel	27
1.7.1. Définition du concept "modèle".....	27
1.7.2. Définition du concept "simulation"	28
1.7.3. Types de simulation par ordinateur.....	29
CHAPITRE 2 : CADRE THÉORIQUE	33
2.1. Considérations théoriques d'ordre général	35
2.1.1. Le behaviorisme.....	36
2.1.2. Le cognitivisme.....	37
2.1.2.1. La gestaltthéorie	37
2.1.1.2. La théorie de Piaget	38
a) L'apprentissage par la découverte selon Bruner	41
b) Modèle technologique de Chadwick	44
2.1.1.3. La théorie du traitement de l'information	45
2.2.1.4. L'apprentissage hiérarchique selon GAGNÉ	48


2.2. Considérations d'ordre didactique.....	51
2.2.1. Logique de la modélisation.....	53
2.2.1.1. La modélisation sans le support ordinateur.....	53
2.2.1.2. La modélisation avec le support ordinateur.....	56
2.2.2. Logique de la simulation	60
2.2.2.1. Logique de la simulation sans le support ordinateur	60
2.2.2.2. Logique de la simulation avec l'ordinateur.....	61
2.2.3. Approche pédagogique du simulateur interactif	65
2.3. La résolution de problèmes.....	71
2.3.1. La notion de représentation dans la résolution de problèmes	72
2.3.2. Modèles illustrant la construction de la représentation du problème	74
2.3.3. Les possibilités d'erreurs lors de la résolution de problèmes.....	75
2.3.3.1. Adéquation au but.....	76
2.3.3.2. Adéquation des moyens	77
2.3.3.3. Test d'adéquation du résultat de la simulation	78
2.3.3.4. Test d'adéquation au résultat final.....	79
2.3.3.5. La stratégie optimale	81
 CHAPITRE 3 : CADRE MÉTHODOLOGIQUE	 84
3.1. Modèles de développement des outils didactiques.....	86
3.2. Modèles de développement d'outils didactiques assistés par ordinateur.....	89
3.3. Développement du simulateur selon le modèle de Nonnon.....	92
3.3.1. Problème à résoudre ou idée de départ	92
3.3.2. Considérations théoriques appuyant notre idée.....	93
3.3.3. Principes et choix préalables à l'opérationnalisation de l'idée.....	99
3.3.3.1. Préciser la structure modulaire.....	100
3.3.3.2. Réalisation d'une maquette papier : la scénarisation.....	101
3.3.3.3. Principes généraux définissant le profil du prototype.....	107

3.3.3.4. Principes spécifiques aux simulateurs interactifs.....	121
3.3.4. Ressources à intégrer au simulateur.....	128
3.3.4.1. Ressource humaine : encadrement des étudiants.....	128
3.3.4.2. Documents d'accompagnement.....	129
CHAPITRE 4 : MODÈLE D'ACTION PÉDAGOGIQUE.....	134
4.1. Orientation générale du modèle d'action.....	135
4.2. Orientation spécifique du modèle d'action.....	136
4.3. Application de la "Lunette cognitive" au modèle d'action.....	137
CHAPITRE 5 : DÉVELOPPEMENT ET STRUCTURE DU PROTOTYPE....	146
5.1. Support technologique et langage informatique.....	147
5.1.1. Environnement technologique.....	147
5.1.2. Langage de programmation.....	148
5.2. Squelette du simulateur " <i>Génétiq</i> ue" à l'état de prototype.....	150
5.3. Lancement de " <i>Génétiq</i> ue".....	152
5.4. Les unités principales du simulateur ou " <i>laboratoires</i> ".....	155
5.4.1. Le "Laboratoire1".....	156
5.4.2. Le "Laboratoire 2".....	167
5.4.3. Le "Laboratoire 3".....	168
5.4.4. Le "Laboratoire 4".....	169
5.4.5. Le "Laboratoire 5".....	170
5.5. Unités complémentaires du simulateur.....	174
5.5.1. La pile "Exercices et problèmes".....	174
5.5.2. La pile des "Données".....	178
5.5.3. La pile "Dossiers".....	180
5.5.4. La pile des "Concepts".....	181

5.6. Les modifications possibles à apporter au simulateur.....	182
5.6.1. Modifications au niveau du contenu pédagogique	182
5.6.2. Modifications au niveau du contenu des messages	183
5.6.3. Modifications des critères de réussite.....	183
CHAPITRE 6 : MISES À L'ESSAI FONCTIONNELLE ET EMPIRIQUE ...	186
6.1. Mise à l'essai fonctionnelle.....	188
6.1.1. Grille d'appréciation du prototype	188
6.1.2. Déroulement de la mise à l'essai fonctionnelle.....	190
6.1.3. Modifications apportées au prototype.....	191
6.2. Mise à l'essai empirique	194
6.2.1. Recrutement des étudiants participants et de l'animateur	195
6.2.2. Séance d'information	196
6.2.3. Déroulement de la mise à l'essai empirique	198
6.2.4. Résultats générés par la mise à l'essai empirique.....	200
6.2.4.1. Résultats fournis par les dossiers personnels informatisés.....	200
6.2.4.2. Résultats récoltés par l'observation des étudiants	211
6.2.4.3. Résultats générés par le questionnaire	221
6.2.5. Retour critique sur le matériel didactique développé	232
6.2.5.1. Modifications concernant le logiciel.....	233
6.2.5.2. Modifications des documents d'accompagnement.....	233
6.2.6. Propositions pour une meilleure exploitation du simulateur " <i>Génétique</i> "	235
CONCLUSION.....	236
RÉFÉRENCES	248
ANNEXES.....	261


LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I : Composition des équipes pour la mise à l'essai empirique.....	196
TABLEAU II : Caractéristiques des étudiants participants à la mise à l'essai empirique	197
TABLEAU III : Résultats globaux obtenus par les étudiants lors de la mise à l'essai.....	203
TABLEAU IV : Perception des étudiants à l'égard des interactions avec simulateur.....	223
TABLEAU V : Perception des étudiants à l'égard du fonctionnement du simulateur	225
TABLEAU VI : Perception des étudiants à l'égard des documents d'accompagnement	227
TABLEAU VII : Point de vue des élèves à l'égard des apprentissages offerts par le simulateur .	229
TABLEAU VIII : Perception des élèves à l'égard des habilités développées par le simulateur....	231




LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : Séquence du traitement de l'information selon Gagné (dans Brien et Paquin, 1976)... 45	45
FIGURE 2 : Processus de la modélisation (d'après Walliser, 1977) 54	54
FIGURE 3 : Modèle générique d'enseignement des sciences (d'après Nonnon, 1986)..... 57	57
FIGURE 4 : Concept de "La lunette cognitive" (d'après Nonnon, 1986)..... 58	58
FIGURE 5 : Représentation simultanée du phénomène simulé et des données statistiques 66	66
FIGURE 6 : Élève sous tutelle pédagogique sans l'outil ordinateur (selon Jérôme, 1979) 68	68
FIGURE 7 : Élève sous tutelle pédagogique avec l'outil ordinateur (selon Jérôme, 1979) 69	69
FIGURE 8 : Schéma minimum de la résolution de problèmes (d'après Gombert et Fayol, 1988)... 75	75
FIGURE 9 : Test d'adéquation du but (d'après Gombert et Fayol, 1988) 76	76
FIGURE 10 : La simulation dans la résolution du problème (d'après Gombert et Fayol, 1988) 77	77
FIGURE 11 : Test d'adéquation du résultat de la simulation (d'après Gombert et Fayol, 1988)..... 78	78
FIGURE 12 : Modifications suite à un éloignement du résultat (d'après Gombert et Fayol, 1988).. 79	79
FIGURE 13 : Test d'adéquation du résultat terminal (selon Gombert et Fayol, 1988) 80	80
FIGURE 14 : La stratégie optimale (d'après Gombert et Fayol, 1988)..... 81	81
FIGURE 15 : Modèle de développement d'objets (selon Van Der Maren, 1995) 87	87

FIGURE 16 : Modèle " <i>Learner Verification and Revision</i> " (selon La Rocque et Stolovitch, 1983),.	88
FIGURE 17 : Modèle de développement (selon Nonnon, 1987).....	91
FIGURE 18 : Application de la "Lunette cognitive" au modèle d'action.....	140
FIGURE 19 : Squelette du simulateur " <i>GÉNÉTIQUE</i> " à l'état de prototype.....	151
FIGURE 20 : Page-écran présentant le choix des icônes	153
FIGURE 21 : Menu principal pour naviguer dans les différentes parties du simulateur	154
FIGURE 22 : Liens entre les sections dans les piles "Laboratoire1, 2 et 3".....	156
FIGURE 23 : Page-écran de la phase expérimentation.....	159
FIGURE 24 : Page-écran de la phase vérification	161
FIGURE 25 : Icônes qui commandent diverses actions dans le système.....	163
FIGURE 26 : Page-écran au niveau de la conclusion	165
FIGURE 27 : Exemple d'un énoncé dans le " <i>laboratoire 5</i> " lié à l'hérédité humaine.....	172
FIGURE 28 : Structure d'une page-écran d'un exercice.....	177
FIGURE 29 : La carte " <i>index</i> " dans la pile des " <i>Données</i> ".....	179
FIGURE 30 : Exemple d'une page-écran de la pile " <i>Concepts</i> ".....	182
FIGURE 31 : Étapes de la cueillette des données pour la mise à l'essai empirique.....	199


LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Instructions et Programmes officiels des sciences naturelles	261
ANNEXE 2 : Liste des didacticiels consultés	280
ANNEXE 3 : Grille d'appréciation du simulateur lors de la mise à l'essai fonctionnelle	283
ANNEXE 4 : Liste des professionnels participants à la mise à l'essai fonctionnelle	309
ANNEXE 5 : Guide d'utilisation du professeur	311
ANNEXE 6 : Résultats obtenus par les étudiants dans les différents "laboratoires"	346
ANNEXE 7 : Questionnaire soumis aux étudiants à la fin de la mise à l'essai empirique	352
ANNEXE 8 : Guide d'utilisation de l'étudiant	360
ANNEXE 9 : Cahier des activités de l'élève	379
ANNEXE 10 : Disquette du simulateur " <i>Génétique</i> "	395



REMERCIEMENTS


L'auteur désire exprimer sa très grande reconnaissance à son directeur de thèse, monsieur Pierre Nonnon, Ph. D., dont l'inlassable patience et les conseils judicieux et éclairés, joints à une très grande disponibilité, ont permis de conduire ce travail à terme. Je le remercie pour les nombreuses corrections, toujours pertinentes, apportées à cette recherche et les encouragements qu'il m'a prodigués.

De plus, je tiens à remercier les enseignants professionnels qui ont participé à la mise à l'essai fonctionnelle. Toute ma gratitude va à monsieur Sébastien Lemieux, étudiant en informatique à l'Université de Montréal, qui a consacré des heures et des heures pour réviser et corriger la programmation du didacticiel. Son implication fut bénéfique pour faire progresser l'élaboration du simulateur. Mes remerciements vont aussi à monsieur El Markazi Ahmed pour sa collaboration et sa disponibilité pour encadrer la mise à l'essai empirique. Mes remerciements vont également aux étudiants dont l'implication remarquable, montrée tout au long de la mise à l'essai empirique, a rendu possible ce travail.

Je veux remercier mes parents, mes frères et mes soeurs pour l'intérêt constant qu'ils ont manifesté à l'égard de mon travail et pour leur précieux et chaleureux soutien.

Enfin, je tiens à porter un grand remerciement à mon épouse Khadija, à mes deux filles Kawthar et Houda pour leur patience et leur appui moral permanent. Elles ont accepté mon absence même pendant les moments où il était nécessaire que je sois à leurs côtés.


INTRODUCTION



Le but de cette recherche-développement est de concevoir, d'élaborer et de mettre à l'essai un simulateur interactif pour permettre l'expérimentation de phénomènes biologiques dont les variables n'obéissent pas à une relation déterministe de cause à effet, mais dont la relation causale ne peut s'expliquer et s'appréhender que de manière probabiliste. Nous appliquons ce simulateur à l'étude des lois probabilistes de la génétique mendélienne. Notre recherche s'inscrit dans le cadre de l'épistémologie de la connaissance et de l'approche constructiviste qui sont centrées sur l'idée que l'étudiant construit son propre savoir en manipulant des objets, notamment à l'aide des nouvelles technologies de l'information.

L'idée qui a motivé ce travail est issue de la problématique de l'enseignement des sciences expérimentales (biologie, chimie et physique) qui sont, d'abord et avant tout, des disciplines fondées sur l'expérimentation. Leur enseignement doit donc être axé sur une approche expérimentale. C'est là une affirmation régulièrement renouvelée, qui a fait et qui continue de faire l'objet de nombreux débats (Darley, 1994 ; Legendre, 1994). Ce type d'activité favorise le développement de la pensée conceptuelle, de l'esprit critique et du raisonnement logique. Mais, telles qu'elles sont conçues et pratiquées dans les écoles, les activités de laboratoire ne semblent pas porter les résultats escomptés, ni gagner l'intérêt des élèves. Doit-on exiger des étudiants d'améliorer davantage leur performance pour qu'ils redonnent à l'expérimentation réelle la valeur qui lui revient, ou doit-on plutôt modifier les approches pédagogiques en les adaptant encore plus au public auquel ces disciplines sont destinées ? Cela ne veut pas dire qu'il faut diminuer les exigences, mais qu'il est possible de restructurer les approches et de développer des moyens didactiques afin que les apprenants rencontrent moins d'obstacles pour intégrer de nouvelles connaissances.

Néanmoins nous assistons, ces derniers temps, à une prise de conscience de la part des didacticiens pour relancer l'intérêt des élèves et pour redonner à la démarche expérimentale le statut qui lui convient. Des efforts sont réalisés pour stimuler des innovations qui favoriseraient une amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences expérimentales. Dans ce contexte, nous nous sommes intéressé à la didactique de la biologie, plus particulièrement à l'apprentissage des lois probabilistes de la génétique mendélienne dont certains travaux ont montré qu'il posait un certain nombre de problèmes aux étudiants.



En effet le réseau conceptuel de la génétique est relativement complexe et une bonne compréhension des facteurs impliqués dans le phénomène de la transmission des caractères héréditaires demande l'intégration d'un ensemble de connaissances aussi variées que les lois de Mendel, les statistiques et les probabilités. Un certain nombre d'obstacles et de difficultés rendent la structuration de ces différents savoirs difficiles. Il en existe un, en particulier, qui empêche la compréhension des lois probabilistes de la génétique mendélienne, c'est celui du hasard dans la recombinaison génétique qui détermine les fréquences phénotypiques et génotypiques probables dans la descendance. Rumelhard (1986) a constaté que les étudiants ne raisonnaient pas en terme de probabilités associées aux recombinaisons génétiques pour expliquer la variabilité dans les proportions phénotypiques chez les rejetons issus d'un croisement donné, mais plutôt en terme de dominance ou non du gène qui gouverne le caractère héréditaire étudié. L'assimilation de la notion de hasard est, elle-même, difficile à appréhender car elle est contraire au raisonnement déterministe. Cette difficulté constitue une barrière à la formation d'un réseau relationnel cohérent entre les notions de hasard, de probabilité et de statistique, dont l'articulation est nécessaire à une bonne assimilation des lois probabilistes de la génétique de Mendel.


Suite à ces considérations, il ne paraît pas inutile d'offrir aux étudiants un moyen pour appréhender les lois probabilistes de la génétique mendélienne. Sauf que l'expérimentation réelle en génétique, avec du matériel biologique vivant, n'est pas commode sur le plan didactique. Le temps nécessaire pour obtenir plusieurs générations d'animaux ou de végétaux est beaucoup trop long pour qu'il soit possible de le faire en si peu de temps dont dispose les enseignants pour instruire la totalité du programme qu'il leur est confié. De plus, la multiplicité des croisements est indispensable pour permettre aux étudiants d'observer un nombre important de données favorisant une synthèse adéquate. Par conséquent, la démarche expérimentale ne peut s'effectuer, d'un seul coup, à partir d'une seule et unique expérience ; elle doit se dégager lentement par répétition et accumulation d'expériences. Certaines expériences exigent une grande diversité d'observations, de multiples croisements, donc plusieurs résultats qui, à leur tour, nécessitent une interprétation statistique. La chaîne expérimentale est longue et quelques maillons de celle-ci ne suffisent pas pour appréhender le phénomène dans sa globalité. Par contre, la génétique mendélienne se prête particulièrement bien à la simulation sur ordinateur, puisque la modélisation mathématique dont elle fait l'objet permet de reproduire facilement la recombinaison aléatoire des gènes d'une génération à l'autre.

Donc le but de cette recherche est, rappelons-le, de concevoir, de développer et de mettre à l'essai un simulateur interactif utilisant une approche modélisante permettant l'intégration des lois probabilistes de la génétique mendélienne.

Ainsi, le chapitre premier fera une analyse critique de l'enseignement des sciences et évoquera les obstacles qui s'opposent au succès de l'expérimentation réelle en génétique. En s'inspirant de divers travaux en didactique des sciences, nous avancerons des arguments qui justifient le recours à la simulation par ordinateur pour combler les contraintes empêchant la réalisation d'expériences réelles en génétique. Pour permettre au lecteur de mieux percevoir l'orientation de notre travail, nous préciserons le type de simulation qui fera l'objet de la présente étude. Nous définirons ainsi deux concepts clés, à savoir la "simulation" et la "modélisation". Finalement, ce premier chapitre présentera les objectifs de la présente étude.

Le second chapitre exposera les fondements théoriques qui sous-tendent l'approche pédagogique offerte par le simulateur interactif. Cette approche découlera essentiellement des principes de la théorie constructiviste piagétienne et de la théorie du traitement de l'information. Les modèles d'enseignement qui vont alimenter notre travail seront présentés successivement suite à chacune de ces théories. Parmi ces modèles, nous examinerons celui de l'apprentissage par la découverte de Bruner, de Chadwick et de Gagné. Pour mieux concrétiser notre conception pédagogique, nous emprunterons à Nonnon (1986) les principes du concept de la "Lunette cognitive". Comme notre simulateur devra incorporer des expériences simulées et la résolution de problèmes en génétique, nous analyserons quelques modèles de la résolution de problèmes et nous accorderons une place particulière au modèle proposé par Gombert et Fayol (1988) vu qu'il met en évidence un certain nombre de boucles régulatrices impliquées dans le processus d'autocontrôle et d'autorégulation dans l'accomplissement de la tâche.

Le troisième chapitre est divisé en deux sections. La première, décrira la méthodologie employée et fera part des prises de positions quant au modèle de développement retenu. L'examen de quelques modèles de recherche-développement, nous conduira à opter pour le modèle de Nonnon (1987). L'approche choisie et les étapes de conception du simulateur seront également exposées. La seconde section, présentera les principes directeurs adoptés pour élaborer le simulateur et les documents d'accompagnement. On y trouvera les critères généraux, communs à la plupart des didacticiens éducatifs, les critères spécifiques au




simulateur "*Génétique*" et les critères relatifs aux ressources à intégrer au simulateur : documents d'accompagnement et encadrement humain.

Le quatrième chapitre développera le modèle d'action afin de mieux cerner l'approche didactique privilégiée par le simulateur. C'est ici où nous préciserons la manière avec laquelle nous exploiterons le concept de la "Lunette cognitive" de Nonnon pour l'intégrer à notre outil. Nous indiquerons comment les représentations concrète et symbolique, des lois probabilistes de la génétique mendélienne, visualisées simultanément seront décodées et appréhendées par l'apprenant.

Le cinquième chapitre décrira la structure et le rôle des différentes unités constituant le simulateur "*Génétique*". Il exposera également le support technologique et le langage informatique qui furent choisis pour programmer le simulateur "*Génétique*" à l'état de prototype.

Le sixième chapitre présentera le déroulement des deux mises à l'essai. La mise à l'essai fonctionnelle et la mise à l'essai empirique. Les modifications découlant de ces deux mises à l'essai seront dévoilées et analysées. Finalement, ce chapitre s'achèvera par un retour critique sur le matériel élaboré (simulateur et documents d'accompagnement) et formulera quelques propositions aux enseignants qui souhaiteraient intégrer cet outil à leurs pratiques pédagogiques.

Enfin, la conclusion dressera un bilan de la recherche et discutera les résultats qu'elle a générés. Elle mettra en évidence les limites de l'étude et soulignera la légitimité des résultats obtenus. À la lumière de ces limites, notre travail suggérera des pistes de recherche à explorer.



CHAPITRE 1
PROBLÉMATIQUE

Comme son titre l'indique, cette étude a pour but de concevoir, de développer et de mettre à l'essai un simulateur interactif pour permettre aux étudiants de mieux intégrer les lois probabilistes impliquées dans la génétique mendélienne. Selon Nonnon (1986), une recherche-développement pourrait s'amorcer sur une idée ou un problème à résoudre.

Pour saisir l'idée qui a motivé la présente recherche il s'avère important de la situer dans le contexte général de la problématique de la didactique des sciences, et plus particulièrement dans celui de l'enseignement de la génétique. Notre objectif n'est certainement pas de faire une analyse exhaustive de tous les problèmes reliés à la didactique des sciences au secondaire, mais de souligner le lien étroit que celle-ci entretient avec l'objet de la présente étude. Compte tenu que l'idée de base qui a suscité notre entreprise est au coeur même de cette problématique, nous présenterons donc successivement l'importance de l'étude par rapport à l'enseignement des sciences expérimentales de manière globale et par rapport à l'enseignement des sciences biologiques dans le contexte scolaire québécois et marocain.

1.1. Importance de l'étude par rapport à la didactique des sciences

S'agissant de l'enseignement des sciences, la littérature est abondante et révèle que cet enseignement est l'objet d'interrogations multiples auxquelles les chercheurs ont tenté d'apporter diverses réponses, en se basant notamment sur des données épistémologiques, psychologiques et didactiques (Giordan et Girault, 1994 ; Giordan et *al.*, 1994a, 1994b ; Legendre, 1994). Face à l'inquiétude des uns et au désarroi des autres, certains s'interrogent sur les conséquences économiques, politiques et culturelles de la science, d'autres vont jusqu'au point de soulever la question de la finalité de cet enseignement. L'appropriation d'une culture scientifique est considérée par divers auteurs, comme Fourez (1995), Giordan (1995a) et Gago (1991), comme le noeud vital de l'évolution sociale, c'est pourquoi la science présente d'énormes défis pour toute collectivité qui cherche à orienter son propre avenir. À cet effet, Giordan (1995a) souligne que : "L'appropriation d'une culture scientifique est un facteur essentiel de la compétitivité économique et du rayonnement industriel d'une société" (p. 23). D'autres chercheurs observent que la pédagogie des sciences, qui progresse peu et lentement, mérite un examen sérieux et des changements importants (Giordan et De Vecchi, 1994 ; Orpwood et Souque, 1984 ; Ste Marie, 1980). Ils font ressortir surtout le décalage qui existe entre la science qui se fait et la science qui se transmet.

De nombreux travaux, basés sur des courants pédagogiques bien connus, notamment ceux de Bruner et de Piaget, insistent beaucoup plus sur le développement de schèmes d'observation, d'analyse, de synthèse, d'attitudes expérimentales et de méthodes de recherches au détriment de la mémorisation des connaissances.

À l'heure actuelle, presque tout le monde s'accorde pour dire que les méthodes employées reposent sur un système répétitif et imitatif. On ne convainc pas ; mais on impose un savoir extérieur à l'expérience, aux motivations et aux représentations de l'élève (Cantin et *al.*, 1996 ; Giordan et *al.*, 1994a ; Legendre, 1994).

Ce constat d'échec n'est certes pas spécifique à un système scolaire particulier, mais il est plutôt l'héritage d'une tradition éducative affectant plusieurs systèmes, un peu partout, à travers le monde. En effet, divers travaux, tant en Amérique du Nord (Cantin et *al.*, 1996 ; Desautels, 1980 ; Nadeau et Desautels, 1984 ; Orpwood et Souque, 1984 ; Ste Marie, 1980), qu'en Europe (Fourez, 1992, 1995 ; Giordan et De Vecchi, 1987, 1994), montrent qu'il existe un décalage entre le discours pédagogique et la pratique didactique des enseignants. Si le premier valorise la créativité, la participation et l'initiative de l'élève dans le processus de l'apprentissage ; la pratique didactique révèle, quant à elle, le contraire. Les cours dispensés en classe sont généralement caractérisés par l'absence de ces valeurs. La crise de l'enseignement est aujourd'hui un fait quotidien. La société, les parents, les enseignants et les élèves en subissent à divers niveaux les conséquences. On reproche à l'enseignement trop d'intellectualisme et pas assez de formation de caractères ; trop de mémoire et pas assez de jugement ; trop peu d'usage de libertés dans l'appropriation des connaissances ; trop de sciences faites et pas assez de méthodes pour les faire. C'est dans cette masse de critiques qu'une inquiétude s'est emparée d'un grand nombre de didacticiens, ce qui a poussé quelques-uns d'entre eux à édifier de nouveaux modèles didactiques dans l'espoir de trouver des solutions concrètes à l'enseignement des sciences (Fourez, 1995 ; Giordan et Girault, 1992 ; Giordan, 1994, 1995b ; Nonnon, 1986).

Giordan et De Vecchi (1987) vont plus loin en soulevant des questions sur la pertinence et la qualité de la formation scientifique des élèves qui finissent le secondaire et qui s'engagent dans des études universitaires. Ils mentionnent à ce sujet : "en terminant leur baccalauréat, les étudiants ont une idée déformée de la science et une image vague et figée"

(p. 7). Astolfi et al. (1978) ont, eux aussi, attribué le manque d'une culture scientifique chez les élèves aux démarches pédagogiques utilisées par les enseignants des sciences. Ils soulignaient : "Comment prétendre former à la pensée scientifique par des méthodes linéaires répétitives ou imitatives où l'élève n'est qu'un simple exécutant ou un simple spectateur pour ne pas dire un simple croyant ? Comment prétendre former à la pensée scientifique quand nous, enseignants des sciences nous nous contentons de répéter un savoir sans nous poser la moindre question" (p. 11). Aux yeux de certaines personnes, ces réactions peuvent paraître démodées. Au contraire elles sont toujours d'actualité puisque le même auteur, Astolfi (1994), douze ans plus tard, reprend presque la même idée en écrivant : "Les étudiants ne disposent que d'un savoir *ready-made*, mobilisable comme un bloc insécable, pour simplement corroborer ce qu'ils doivent dire en la circonstance. Pas étonnant que les fausses représentations reviennent au galop, aussitôt l'examen ou le contrôle terminé" (p. 85). Par ailleurs, Fourez (1995) nous apprend que les carences observées chez les étudiants tiennent en partie à la structure des programmes, mais aussi et surtout aux approches pédagogiques appliquées par les enseignants. Il écrit : "Les élèves ne semblent guère formés à utiliser les sciences dans la vie courante et, ce qui est pire, paraissent de plus en plus souvent éprouver de l'aversion à leur égard. Il est de plus en plus admis que l'enseignement classique des sciences aboutit aujourd'hui à une crise, sinon à un échec." (p. 28).

En dépit des tentatives répétées pour assurer une formation mieux adaptée aux exigences de la société contemporaine, l'enseignement des sciences n'a pas réussi à atteindre les objectifs qu'il s'était fixés (Fourez, 1995 ; Legendre, 1994). Si un certain consensus se dégage quant à la nature des contenus et des programmes à dispenser, et si la nécessité de proposer aux étudiants des activités qui leur donnent un rôle actif et dynamique est largement admise, il en va autrement dans les salles de travaux pratiques surtout lorsqu'il s'agit d'activités qui, parfois, se prêtent moins que d'autres à la manipulation au laboratoire, comme c'est le cas de certains phénomènes géologiques qui exigent des délais d'observation très longs ou trop courts, ou encore les lois probabilistes de la génétique mendélienne dont l'intégration ne peut se concrétiser qu'à travers une série d'expérimentations permettant l'observation de la variabilité des caractères héréditaires chez les êtres vivants. Plus loin, nous reviendrons sur la façon avec laquelle les enseignants dispensent le cours de génétique dans les écoles et nous évoquerons les obstacles qui s'opposent à la réalisation d'expériences réelles de cette discipline dans les laboratoires concrets.

Voyons au préalable qu'en est-il de l'état de l'enseignement des sciences naturelles au Maroc. Une précision mérite toutefois d'être évoquée ici. Si nous avons opté de conduire l'analyse contextuelle de l'enseignement des sciences en prenant comme exemple le système scolaire marocain, c'est parce que nous y avons travaillé pendant plus de dix (10) ans en qualité de professeur des sciences naturelles au secondaire et durant six (6) ans dans la formation des maîtres.

À travers l'analyse contextuelle de l'enseignement des sciences au secondaire marocain, que nous présentons dans le paragraphe subséquent, nous tenterons de mieux circonscrire notre idée. Nous devons néanmoins souligner que ce qui nous intéresse dans le cadre de cette analyse ce sont uniquement les problèmes d'ordre didactique. Les autres choix et options nécessiteraient toute une vision globale et volontariste en matière d'éducation et d'enseignement. Le lecteur qui souhaite toutefois en savoir plus sur ces options peut consulter un rapport assez récent fait par un groupe d'experts sous la direction de Caillods et *al.* (1994). En plus de nous livrer de nouvelles données statistiques sur les effectifs des étudiants inscrits dans les diverses filières scientifiques du système éducatif marocain, ce document formule une série de recommandations pour accroître la qualité de l'enseignement des sciences et pour doter les élèves d'outils leur permettant de participer activement à l'avancement des sciences et des technologies. Parmi ces recommandations, nous pouvons lire par exemple : "rendre la formation scientifique plus concrète, plus appliquée, plus orientée vers la technologie et le monde extérieur en articulant à cette formation des options telles que l'informatique" (Caillods et *al.*, 1994 ; p. 163). Curieusement cette pensée est intimement liée à l'idée qui a motivé le présent travail ; idée qui sera développée dans les prochaines sections.

1.2. Analyse contextuelle de l'enseignement des sciences au Maroc

Pour mieux expliciter cette analyse contextuelle, faisons un bref rappel historique du passé. Jusqu'en 1975, l'enseignement des sciences naturelles au Maroc connaissait, en grande partie, la pratique de la méthode dogmatique et l'emploi de la démarche monographique. Mais, depuis la tenue d'une série de commissions et de séminaires sur les pratiques de cette matière, d'abord en 1977 puis en 1979, on assiste à une remise en question des méthodes d'enseignement et à une refonte des programmes dans le but d'un

effort collectif de renouveau. On plaide pour des méthodes formatives axées sur les démarches intellectuelles et l'exercice de la pensée plutôt que sur la mémorisation des connaissances. Il faut donc attendre l'année 1980 pour voir apparaître les nouveaux "programmes et instructions officielles" qui synthétisent l'ensemble de tous les travaux en principes pédagogiques et officialisent la pratique et la tâche de l'enseignant sur des démarches dont l'objectif est de "développer la créativité et l'initiative de l'élève". On trouvera en appendice ces programmes et instructions officielles (annexe 1).

Les instructions officielles du Ministère de l'Éducation Nationale (M.E.N, 1980), insistent sur l'importance d'une approche plus concrète pour dispenser cette matière. L'expérimentation directe des phénomènes en laboratoire devrait contribuer à donner une dimension réelle à l'enseignement de cette discipline et à offrir aux apprenants les différentes possibilités de formuler et de tester leurs hypothèses visant à expliquer et à intégrer le phénomène étudié. Ce type d'activité joue un rôle important dans le développement du processus de la démarche scientifique (Astolfi et Develay, 1989 ; Giordan et De Vecchi, 1987, 1994 ; Legendre, 1994 ; Martinand et Giordan, 1987 ; O.C.D.E, 1989). Comme indiqué précédemment, les instructions officielles font état de plusieurs principes, dont certains sont énoncés ci-après :

"Les sciences naturelles ne sont pas une discipline de simple acquisition des connaissances. Au contraire, elles visent à développer chez la personne des connaissances, des attitudes scientifiques, l'expression sous toutes ses formes (orale, écrite et graphique), des habiletés manuelles, des habitudes de travail, le développement du sens social civique et le sens de la protection de la nature" (M.E.N, 1980 ; p : 5 et 6)¹

Ces principes viennent, en quelque sorte, révolutionner l'enseignement de cette discipline. Dorénavant, l'enseignement de la biologie portera sur l'origine des concepts, et l'expérimentation directe au laboratoire devra être favorisée. Deux options majeures se dégagent de ces instructions officielles :

1- Ministère de l'Éducation Nationale (1980)- Instructions et programmes officiels des sciences naturelles. Rabat : Librairie Al Maârif.

"Les sciences de la nature visent le développement à partir du contact entre l'élève et le monde qui l'entoure. Elles doivent assurer : le sens de l'observation, de l'analyse, de la réflexion logique, du passage du particulier au général et du concret à l'abstrait. Sans cesse en contact avec des objets ou des expériences, l'élève est amené à observer de façon critique, à distinguer l'essentiel de l'accessoire, à comparer, à analyser une expérience, à concevoir d'autres, à généraliser et à synthétiser. Il acquière ainsi une attitude scientifique..." (M.E.N, 1980 ; p. 5)

Toujours en ce qui a trait aux travaux pratiques dans les laboratoires, on peut lire, plus loin, dans ces instructions officielles, ceci :

"Le travail de laboratoire doit viser avant tout à habituer l'élève à voir des problèmes, à trouver des manières de les résoudre, à rattacher les problèmes et l'expérimentation aux principes généraux et à développer chez l'étudiant la précision, l'habileté manuelle, la curiosité, l'émerveillement, l'initiative, l'imagination, l'intuition, l'objectivité." (M.E.N, 1980 ; p. 7)

Afin de se conformer à ces recommandations, les établissements scolaires se dotèrent, à grands frais, de laboratoires et de salles scientifiques bien équipés. Un matériel didactique approprié se développa et fut mis à la disposition des enseignants. Des ateliers de formation furent créés dans les quatre coins du Maroc pour permettre aux professeurs de biologie de trouver des réponses à leurs préoccupations immédiates et pour pouvoir les doter de moyens appropriés qui les aideraient à mieux intégrer les nouvelles exigences à leurs pratiques pédagogiques (Caillods et *al.*, 1994 ; p. 9).

Or, malgré tous les efforts déployés pour améliorer la situation de l'enseignement des sciences naturelles au secondaire marocain, certains rapports et travaux de recherches font un constat d'échec de cet enseignement. Ainsi, le travail de Abdeljabbar (1982) et celui de Fayez (1983) arrivent à des conclusions quasi identiques que nous résumons en ces termes : l'objectif de développer la créativité et l'initiative de l'élève s'avère malheureusement décevant. Ces deux études s'accordent pour souligner que les activités de laboratoire se

réduisent souvent à un exercice superficiel qui consiste à appliquer une série d'étapes prédéterminées afin de permettre à l'élève de consolider une loi qui lui est déjà connue. Elles révèlent aussi que lors des activités pratiques de laboratoire les élèves ne font que suivre, pas à pas, le protocole expérimental défini par le professeur. De façon schématique, ces deux recherches décrivent les séances des travaux pratiques au laboratoire de la manière suivante : le professeur distribue le matériel didactique et propose un protocole expérimental permettant aux étudiants d'accomplir les manipulations sur une expérience que l'enseignant a préalablement testée ; les élèves suivent scrupuleusement le mode opératoire et fournissent un compte rendu dans lequel ils présentent les résultats attendus. Ces activités ne sont pas organisées dans le sens d'une véritable recherche expérimentale, par conséquent, les élèves se soucient davantage du résultat à obtenir que du processus qui y conduit. Dans ce type de manipulation on ne favorise que très peu le sens de l'initiative et encore moins l'esprit créateur. L'activité de l'élève est constamment dirigée de façon étroite.

Fayez (1983), dont l'étude a porté sur la mesure des habiletés scientifiques chez les étudiants marocains, a mis en évidence un manque de culture scientifique chez ses sujets. Il attribue cette lacune aux nombreuses difficultés que les élèves rencontrent pour appliquer adéquatement les habiletés de base liées au processus de la démarche scientifique. Il écrit :

"Les élèves auxquels nous nous sommes adressé, se basent essentiellement sur les attentes qu'ils se font de la situation plutôt que sur l'organisation d'une démarche inductive pouvant amener à une manipulation cohérente et délibérée des variables. Ceci est en fait le résultat d'un enseignement qui porte essentiellement sur la mémorisation d'un certain nombre de données relatives à la matière et qui sont en grande partie oubliées après la dernière interrogation" (p. 148).

Cependant, d'autres travaux, chronologiquement plus récents (Azergui, 1988 ; Zaim Idrissi, 1987), brossent un tableau plus optimiste que celui dont nous fait part Abdeljabbar et Fayez. L'étude de Azergui (1988), par exemple, dévoile que l'effort déployé dans l'enseignement des sciences naturelles est appréciable, particulièrement dans les parties où l'expérimentation directe le permet. Dans son étude, qui a porté sur l'identification des

causes de l'échec à l'épreuve de biologie au baccalauréat marocain², Azergui (1988) mentionne que les parties qui font l'objet de travaux pratiques de façon systématique par les élèves posent moins de problèmes aux candidats bacheliers. Il ajoute par ailleurs qu'il en va autrement pour les autres sections du programme qui, elles, se prêtent difficilement à la manipulation et, par conséquent, échappent à la pratique expérimentale. Il cite, notamment, le chapitre relatif à la transmission des caractères héréditaires chez les vivants, communément connu sous le titre de "lois de Mendel". Ceci nous amène à analyser quelques aspects conceptuels relatifs à la génétique, avant d'exposer l'approche pédagogique privilégiée par les enseignants de biologie pour dispenser cette discipline.

1.3. Enseignement de la génétique au secondaire marocain

L'enseignement de la génétique ne figure dans les programmes officiels qu'à partir du niveau du baccalauréat marocain. Si les instructions officielles insistent beaucoup plus sur une approche concrète et centrée sur l'expérimentation pour permettre à l'élève de structurer puis de construire son propre savoir, elles sous-estiment la pertinence d'attirer l'attention des enseignants sur l'importance de prendre en considération les conceptions des élèves à l'égard d'un concept ou d'un phénomène donné en début d'enseignement (Caillods et *al.*, 1994 ; 36). Les conceptions sont définies par les didacticiens scientifiques, notamment par Giordan et *al.* (1994b), comme "une sorte de décodeur permettant à l'apprenant de comprendre le monde qui l'entoure" (p. 10). Aux yeux des didacticiens, l'emploi du terme "conceptions" est plus commode à celui de "représentations".

Giordan et Girault (1994) nous livrent un précieux catalogue des conceptions auxquelles l'enseignant doit faire face dans un grand nombre de domaines et de situations relevant de l'enseignement de la biologie. Ces auteurs soulignent l'intérêt indéniable de tenir compte des conceptions des apprenants avant tout acte pédagogique. Giordan (1994, p. 302), nous rappelle à ce titre que "l'élève ne part pas de rien. Il possède ses propres outils : ses conceptions". Giordan et Girault (1994), notent par ailleurs que l'action de l'élève doit

² L'ancienne structure du système scolaire marocain (5 années au primaire et 7 années au secondaire), fut remplacée en 1985 par un enseignement fondamental de 9 ans (constitué d'un premier cycle de 6 ans et d'un second cycle de 3 années d'études). L'enseignement fondamental est suivi d'un enseignement secondaire de 3 années d'études, dont la dernière correspond au baccalauréat marocain (Caillods et *al.*, 1994 ; p. 11 et 12).

être "replacée au cœur de la construction de la connaissance (...) sous la forme du *déjà-là* conceptuel (...). C'est l'apprenant, et lui seul, qui analyse, traite et structure ce qui provient de l'environnement afin d'élaborer sa propre réponse, et cela, en fonction de *son système de pensée* et de ce qu'il *perçoit des enjeux de la situation*" (p. 47). Plus loin, Giordan et Girault (1994) soulèvent la question suivante : "Que faire concrètement de ces conceptions quand on souhaite *faire passer un savoir* ?" (p. 48). Ils examinent, à cet effet, de multiples options et les caractéristiques propres à chacune d'elles ; ensuite, ils font ressortir les actions pédagogiques susceptibles de corriger les fausses conceptions des étudiants. Ils considèrent que les positions les plus dominantes pour traiter les conceptions erronées des apprenants sont au nombre de trois (3). La première consiste à les connaître pour "faire avec", autrement dit les utiliser comme source de motivation et de raisonnement. La seconde position propose de les connaître pour "aller contre". Elle stipule de faire émerger les conceptions erronées pour, ensuite, "aller contre" elles. La troisième option, préconise "d'interférer avec" elles. La façon d'interférer avec les conceptions de l'étudiant étant définie par la structure de pensée de celui-ci en fonction du phénomène étudié et des objectifs pédagogiques envisagés.

Des questions élémentaires liées à la génétique sont souvent soulevées et abordées par des enfants, parfois bien avant leur adolescence. Abrougui et Clément (1996) ont identifié chez de jeunes élèves des notions telles que la ressemblance ou la différence par rapport aux parents, l'identité de chacun, la présence du sixième doigt, la différence entre les vrais et les faux jumeaux. Bien qu'elles soient élémentaires, ces notions ne sont ni faciles à expliquer ni simples à faire acquérir. Selon Abrougui et Clément (1996), les conceptions des élèves à l'égard de plusieurs notions de ce type sont souvent marquées par des représentations tenaces, imprégnées par des pensées sociales, culturelles et idéologiques qui n'ont rien à voir avec les conceptions scientifiques. La famille, la société et les médias jouent à cet égard un rôle essentiel. Les interprétations fournies par ces diverses sources développent infailliblement chez les élèves des modèles explicatifs, généralement chargés de préjugés. Dans ce cas, la tâche de l'enseignant est déterminante. Comment doit-il intervenir pour traiter les conceptions initiales des élèves afin de faciliter le passage d'un niveau conceptuel à un autre ? Doit-il les ignorer ou les connaître ? En optant pour cette seconde alternative, doit-il alors "faire avec" elles, ou "aller contre" elles, ou encore "interférer avec" elles ? Ces interrogations nous amènent à exposer l'approche pédagogique privilégiée par les professeurs pour dispenser la génétique au niveau du baccalauréat marocain.

Généralement, pour enseigner les mécanismes de la transmission des caractères héréditaires chez les êtres diploïdes³, les professeurs choisissent des phénotypes (caractères morphologiques) facilement observables à l'oeil nu ou sous une loupe binoculaire, comme la couleur du pelage des souris, la couleur et la forme des petits pois, la couleur et la forme des yeux ou des ailes chez *Drosophila mélanogaster* ou "mouche du vinaigre". C'est souvent la drosophile qui demeure le choix favori par rapport aux autres matériaux biologiques. La raison en est simple, puisque la plupart des manuels scolaires de niveau secondaire et post-secondaire, qu'ils soient conçus et édités au Maroc ou ailleurs, abordent l'explication des lois de Mendel à partir de ce support biologique. Ceci se justifie aisément, étant donné que la drosophile est un matériel biologique facilement manipulable au laboratoire. Mais l'expérimentation directe avec ce matériel n'a que peu d'intérêt pour les enseignants : le temps nécessaire pour obtenir plusieurs générations est beaucoup trop long pour qu'il soit possible de le faire en si peu de temps dont disposent les enseignants pour instruire la totalité du programme qui leur est confié.

Si des auteurs comme Abrougui et Clément (1996) de même que Giordan et *al.* (1994a), nous révèlent que les conceptions des élèves peuvent évoluer par des actions pédagogiques articulant notamment le tâtonnement expérimental et des échanges entre les apprenants, Azergui (1988), quant à lui, nous apprend que les professeurs continuent de dispenser le chapitre de l'hérédité de façon magistrale qu'ils illustrent à l'aide de supports audiovisuels (diapositives, films et autres) en guise d'une méthode active, mais qui n'est en réalité qu'une approche pseudo-active. D'après Caillods et *al.* (1994), les arguments avancés par les enseignants ne sont que partiellement acceptables. Selon les professeurs, le contenu des cours à couvrir est souvent considérable et l'effectif des élèves est relativement élevé ; ensuite, la tentation de reproduire avec leurs étudiants les mêmes méthodes d'enseignement qui furent appliquées sur eux est assez grande. L'étudiant, lui aussi, par sa prédisposition naturelle ou induite, semble se satisfaire docilement dans un rôle passif. Azergui (1988) ajoute que, dans les meilleurs des cas, le professeur peut décrire une expérience et fournir les résultats ou, au mieux, réaliser l'expérience devant ses étudiants. Il ne peut multiplier les expériences et doit donc se limiter à une seule expérience type. Il est alors préférable que l'expérience choisie l'amène vers un résultat qui ne pose aucun problème d'interprétation ; les aléas de l'expérience réelle sont minimisés, bafoués et si possible supprimés.

³ Adjectif (du grec *diplos*, double et *eidōs*, aspect). Se dit d'un organisme qui a deux lots de chromosomes homologues deux à deux. On emploie la formule $2n$ pour exprimer l'état diploïde.

Contrairement au physicien et au chimiste qui, en reproduisant les mêmes expériences, retrouvent toujours aux erreurs de mesure près, les mêmes résultats, le naturaliste est souvent placé devant la très grande variabilité des facteurs qui caractérisent les êtres vivants et les phénomènes biologiques. Trop de facteurs interviennent dans les processus vitaux, de sorte qu'il est très rare de faire deux fois la même observation ou d'obtenir deux fois le même résultat à partir de la même expérience. La variabilité observée au cours de l'expérimentation sur le matériel biologique découle, à la fois, de la variabilité inhérente au phénomène lui-même et des erreurs de mesure.

En génétique, la multiplicité des croisements est indispensable pour permettre aux étudiants d'observer un nombre important de données favorisant une synthèse adéquate. Ce faisant, la démarche expérimentale ne peut s'effectuer d'un seul coup à partir d'une seule et unique expérience ; elle doit se dégager lentement par répétition et accumulation d'expériences. La relance d'une nouvelle expérience dépend des résultats obtenus lors des expérimentations précédentes, car elle met en évidence un très grand nombre de chaînons qui s'imbriquent les uns aux autres. En génétique, le nombre de chaînons pour suivre l'évolution d'un ou plusieurs caractère(s) héréditaire(s) est considérable, dès lors le nombre de rupture dans la chaîne l'est aussi. Certaines expériences exigent une grande diversité d'observations, de multiples croisements, donc plusieurs résultats qui, à leur tour, nécessitent une interprétation des données statistiques. La chaîne expérimentale est dans ce cas longue et quelques maillons ne suffiront pas pour appréhender le phénomène dans sa totalité. Mendel a, lui-même, fait face à cette difficulté puisqu'il a commencé à étudier plus de 350 caractères héréditaires différents avant de réduire ses observations à un nombre limité de phénotypes qui lui ont permis de découvrir ses lois. Ce n'est qu'en confrontant ainsi les étudiants à de nombreuses observations pour percevoir la variabilité des fréquences phénotypiques (comme la couleur des yeux et la forme des ailes chez la drosophile), qu'on peut développer chez eux un véritable raisonnement inductif et, par le fait même, de corriger leurs conceptions initiales à l'égard d'un grand nombre de notions reliées au phénomène de l'hérédité. Mais, telles qu'elles sont conçues, les activités de laboratoire ne sont pas axées sur ce type de raisonnement, puisqu'elles ne sont pas organisées dans le sens d'une véritable recherche expérimentale. Il n'est donc pas étonnant de voir des enseignants de biologie écarter de leur pratique pédagogique l'expérimentation concrète dans les laboratoires. Car, même pour l'enseignant, lui-même, dans certaines expériences quelques maillons risquent

de ne pas être perçus. En fait le catalogue des difficultés qui s'opposent à conduire des expériences concrètes en génétique paraît comme une course d'obstacles. À chaque haie, à chaque saut, l'étudiant passera-t-il ou non ? S'il ne connaît pas le terrain, il ne peut guère se permettre d'anticiper, à coup sûr, ce qui surgira au cours de sa démarche expérimentale. Et c'est sûrement pour cette raison que les élèves se soucient davantage du résultat à obtenir que du processus qui y conduit. Ceci est vrai en physique et encore plus vrai en biologie, lorsque l'appréhension du phénomène ne peut se faire que de manière probabiliste et non de façon déterministe.


La compréhension des lois de Mendel est la synthèse la plus condensée, la plus exhaustive possible d'un ensemble de notions, d'observations et d'hypothèses relatives aux probabilités de l'expression ou non d'un caractère héréditaire déterminé. Le degré d'abstraction du phénomène fait que l'étudiant peut difficilement se retrouver dans ses propres élaborations s'il ne synchronise pas les notions propres à la génétique à d'autres connaissances, comme les statistiques et les probabilités. Le lien avec ces outils mathématiques est nécessaire pour permettre aux étudiants l'accès à la variabilité des facteurs héréditaires qui caractérisent les lois probabilistes de la génétique de Mendel. Malheureusement ces outils cognitifs mathématiques sont peu ou mal synchronisés avec les cours de génétique.

En effet, Giordan et *al.* (1994a), Rumelhard (1986) et Hubert Van Blyenburgh (1987) ont identifié chez des élèves du secondaire un certain nombre d'obstacles et de difficultés qui s'opposent à la structuration et à l'intégration des lois probabilistes impliquées dans la génétique mendélienne. Il en existe un, en particulier, qui apparaît déjà au niveau secondaire et qu'on retrouve plus tard, quasiment inchangé, chez les étudiants du post-secondaire c'est celui du hasard dans la recombinaison génétique. Giordan et *al.* (1994a) soutiennent que cette difficulté est intimement liée à l'image des gènes "en collier de perles" que les étudiants se font de la disposition des gènes sur les chromosomes. Ayant à la fois un rôle positif et négatif, cette image est souvent véhiculée par les enseignants pour amener les étudiants à saisir le fonctionnement des gènes. Son rôle positif permet de représenter et de penser la position relative des gènes les uns par rapport aux autres, de calculer la distance qui les sépare et de prévoir ainsi leur place probable le long des chromosomes. Par ailleurs, cette même image constitue un obstacle puisqu'elle donne l'impression que les gènes sont des unités distinctes sur le plan opérationnel (ségrégation et recombinaison indépendantes) et elle

masque le fait que les gènes ne sont pas indépendants sur le plan fonctionnel. Il existe au coeur de la conception mendélienne du gène un système combinatoire de type probabiliste. Les travaux des auteurs précités, font ressortir que le rôle du hasard dans la recombinaison génétique constitue une difficulté et empêche les étudiants à construire une représentation adéquate des mécanismes de la transmission des caractères héréditaires. Ils notent que les étudiants ne raisonnent pas en terme de probabilités associées aux recombinaisons génétiques pour expliquer les fréquences impliquées dans la détermination des proportions phénotypiques des rejetons issus d'un croisement donné, mais plutôt en terme de dominance ou non du facteur qui gouverne le caractère héréditaire étudié. L'assimilation de la notion de hasard est, elle-même, difficile à appréhender car elle est contraire au raisonnement déterministe. Cette difficulté constitue une barrière à la formation d'un réseau relationnel cohérent entre les notions de hasard, de probabilité et de statistique, dont l'articulation est nécessaire à une bonne intégration des lois probabilistes de la génétique mendélienne.

Par ailleurs, en génétique comme dans d'autres disciplines scientifiques, Giordan et De Vecchi (1987) ainsi que Hubert Van Blyenburgh (1987) indiquent qu'un bon nombre d'élèves n'utilisent pas les outils intellectuels essentiels au processus d'abstraction menant à l'apprentissage scientifique. Pour ces auteurs, même lorsque l'élève pousse son raisonnement inductif à ses limites extrêmes dans des laboratoires réels, il n'arrive que très rarement à faire le saut nécessaire et indispensable pour passer de l'expérience concrète à la représentation abstraite et symbolique de certains phénomènes. Ce passage paraît hors de portée pour lui. Ces chercheurs stipulent que, par son système de représentation particulier et en tant qu'adjuvant, l'ordinateur peut, non seulement combler cette lacune en créant un pont entre le concret et l'abstrait, mais peut générer aussi des mesures avec une plus grande précision et dans des délais très courts.

Ainsi dans la résolution de problèmes, en biologie ou en physique par exemple, l'apprenant doit arriver à un degré suffisant d'induction lui permettant de développer des modèles explicatifs. Son induction doit le conduire à construire des modèles de plus en plus abstraits, c'est-à-dire, à symboliser les variables pour pouvoir les manipuler facilement. Les faits et les phénomènes seront alors traduits en paramètres ou variables quantifiables. Entre ces variables, prises deux à deux, l'élève identifiera des relations ou fonctions telles qu'à toute valeur de l'une correspond une valeur déterminée de l'autre. Loisel (1987) note, à son tour, que l'utilisation pédagogique des ordinateurs oblige l'apprenant à employer la




démarche inductive avec efficacité et à la mener jusqu'au bout, ce qui incontestablement enrichit son acte d'apprentissage.

Dès lors, il nous est apparu opportun de fournir aux étudiants une occasion innovatrice pour appréhender les lois probabilistes de la génétique mendélienne en les dotant d'outils cognitifs susceptibles de leur offrir des éclairages variés et qui offriraient la possibilité de décomposer les variables en interaction, en accélérant ou en ralentissant les différentes composantes de la démarche scientifique. Une approche plus inductive et plus participative semblait, à nos yeux, d'un précieux secours pour amener les apprenants sur une voie où ils pourront s'émerveiller devant le phénomène de la transmission des caractères héréditaires, soulever un problème, trouver dans l'arsenal des méthodes et des modèles la ou les approche(s) les plus pertinentes, contrôler les limites et le degré de validité des lois découvertes, vérifier par des méthodes alternatives leurs prédictions, s'impliquer et se responsabiliser face à la tâche.

Ces démarches nécessitent des supports à réponse rapide, qui permettent l'élaboration de tableaux de données et la mise en forme de graphiques. L'ordinateur avec ses immenses capacités de calcul et de stockage de l'information, est par excellence l'instrument indiqué pour résoudre les problèmes issus de l'extrême variabilité des paramètres, en leur appliquant les méthodes de la statistique et en mettant, éventuellement, en oeuvre la loi des grands nombres.

Un des terrains adéquats et fertiles qui offre ces avantages se trouve, notamment, dans l'utilisation interactive des logiciels de simulation. Avec un simulateur interactif assisté par ordinateur, non seulement l'erreur est permise, mais l'étudiant peut recommencer l'expérimentation ratée, autant de fois qu'il le désire, sans qu'il soit pénalisé par le temps et sans courir le risque d'altérer le matériel biologique. L'ordinateur peut se substituer au laboratoire traditionnel, en montrant les séquences de la démarche expérimentale, l'ordre de grandeur des variables, les limites du phénomène enseigné, tout en permettant les tâtonnements et le questionnement à l'aide d'expériences réalistes centrées sur une approche modélisante.

Suite à ce raisonnement, il nous semble donc que l'emploi d'un simulateur interactif pourrait faciliter la mise en place d'activités pour favoriser la modélisation du phénomène de




la transmission des caractères héréditaires. Les avantages et les mérites de l'utilisation de l'ordinateur, comme support technologique dans l'enseignement des matières scientifiques, sont maintenant bien connus et décrits dans une volumineuse littérature (Beaufils et *al.*, 1987; Blondel et Schwob, 1985, 1996; Fiszler et *al.*, 1984; Jacobsen, 1987; Lauterbach et Frey, 1987; Loïselle, 1987; Milot, 1996; Richard-Molard, 1996). Certains de ces écrits nous présentent également une typologie des logiciels éducatifs destinés à l'enseignement des sciences. Il nous paraît alors nécessaire de présenter, ci-après, les principales utilisations de l'ordinateur en précisant la classification attribuée aux logiciels éducatifs.

1.4. Utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences

L'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences a amené des auteurs à systématiser les types de logiciels pédagogiques en deux grandes classes. Demaizière et Dubuisson (1989), Plante (1984) de même que Lauterbach et Frey (1987), nous proposent une nomenclature basée sur le degré d'autonomie de l'élève face à l'outil. Par autonomie, il faut entendre avec Lauterbach et Frey (1987, p. 418) la capacité de l'apprenant à contribuer activement à son apprentissage et à maîtriser l'outil utilisé. Cette classification, place les divers modes d'utilisation de l'ordinateur sur un continuum.

À l'un des deux pôles, on trouve les applications où l'ordinateur contrôle l'autonomie de l'élève sans lui laisser une marge d'indépendance pour mettre en valeur sa pensée opératoire. Dans cette catégorie on trouve :

- le tutoriel : didacticiel qui oriente l'élève en fonction des connaissances qu'il possède déjà et des techniques d'apprentissage qu'il préfère. Il est essentiellement axé sur l'acquisition de connaissances factuelles ;
- le diagnostiqueur : les connaissances, les aptitudes et les compétences sont diagnostiquées, évaluées ou testées ;
- l'exerciseur : didacticiel de renforcement, sans enrichissement des connaissances ;
- les bases de données : ensemble d'informations appartenant à divers domaines de connaissances stockées et accessibles à l'utilisateur.




À l'autre pôle, se situe une autre famille où l'utilisateur a l'opportunité de construire sa propre connaissance, d'être créateur et libre de tout conformisme. Dans cette seconde catégorie on trouve :

- la simulation : elle représente un aspect de la réalité par un nombre limité de paramètres permettant l'étude des principales caractéristiques du phénomène et les fonctions qui rendent compte de l'évolution des différentes variables ;
- la modélisation : système qui tend à représenter la réalité. Il crée un milieu éducatif qui permet à l'élève d'exercer un contrôle sur les variables mis en jeu ;
- les langages de programmation : système de codage permettant à l'élève de communiquer des ordres à l'ordinateur.

Les biologistes qui se sont intéressés à introduire l'ordinateur dans leur enseignement, ont orienté assez rapidement leurs travaux vers l'utilisation des méthodes quantitatives dans le traitement des informations, donc vers la modélisation et la simulation des phénomènes sur ordinateur. Ces deux approches sont à mettre en relation avec le caractère expérimental et les objectifs méthodologiques de l'enseignement de la biologie. La simulation et la modélisation sont deux approches complémentaires, dans la mesure où elles permettent de travailler sur des observations concernant les phénomènes étudiés ou sur une représentation symbolique de ceux-ci. Dès le départ, leur utilisation fut l'occasion de mettre l'accent simultanément sur leurs aspects méthodologiques et sur leur apport pédagogique.

Dans le domaine de la génétique, nous assistons, ces dernières années, tant en Amérique qu'en Europe, à une prise de conscience de la part des éducateurs en vue d'identifier des moyens qui favoriseraient une meilleure compréhension des concepts et des principes liés à la transmission des caractères héréditaires (Blondel et Shwob, 1985 ; Jenkins, 1987 ; Richard-Molard, 1996 ; Streibel, 1987). Plusieurs travaux se sont donc intéressés à développer des environnements conviviaux assistés par ordinateur pour permettre aux étudiants tant du secondaire qu'à ceux du post-secondaire de mieux intégrer les lois de Mendel. Les résultats de ces travaux (Jenkins, 1987 ; Hubert Van Blyenburgh, 1987 ; Richard-Molard, 1996 ; Streibel, 1987) montrent que l'utilisation de la simulation est une voie prometteuse pour contourner les obstacles qui compromettent une meilleure



conceptualisation des phénomènes liées à la génétique. Certains de ces travaux précisent que la génétique se prête particulièrement bien à la simulation par ordinateur, puisque la modélisation mathématique dont elle fait l'objet permet de reproduire facilement la recombinaison aléatoire des allèles d'une génération à l'autre. Ils ajoutent par ailleurs que la simulation des lois de Mendel facilite la compréhension des mécanismes fondamentaux de la reproduction sexuée en offrant les probabilités et les fréquences possibles des phénotypes de la descendance issus du croisement des deux parents.

Cependant, les didacticiels que nous avons eu l'occasion d'explorer n'ont pas permis de repérer un logiciel éducatif en génétique qui pourrait s'adapter au contexte particulier de la présente étude. Malgré leur spécificité accrue, ces didacticiels montrent qu'ils sont en simulation déductive plutôt qu'en simulation modélisante. Nous avons donc orienté nos énergies vers la conception et l'élaboration d'un simulateur interactif permettant aux étudiants d'appréhender les lois probabilistes impliquées dans la génétique mendélienne. Il paraît alors important de mentionner que les conclusions auxquelles devrait aboutir ce travail ne permettront pas de porter un jugement définitif sur la valeur pédagogique de l'outil proposé. Son efficacité dans le contexte particulier où il sera testé dépendra, entre autres, de l'habileté, de la créativité et de l'imagination du concepteur et des conditions dans lesquelles les mises à l'essai fonctionnelle et empirique vont se réaliser. Par ailleurs, les particularités des participants à la mise à l'essai empirique et les circonstances dans lesquelles celle-ci aura lieu rendent difficile l'établissement de conclusions généralisables quant à l'efficacité du simulateur projeté. Le souci de généraliser les conclusions n'est pas du tout notre préoccupation puisque nous sommes conscient que l'aphorisme "Tant vaut le maître, tant va la démarche" contient une part de vérité. En soulignant ces limites, il nous semble opportun de formuler notre proposition.

1.5. Proposition d'un simulateur interactif

Suite à tout ce qui précède, nous postulons que par le biais d'un simulateur interactif assisté par ordinateur on facilitera chez l'étudiant la découverte des principes qui régissent les lois probabilistes de la transmission des caractères héréditaires. L'exploration de ces lois est une étape préliminaire permettant l'accès à la théorisation. Dans une telle démarche, l'élève sera appelé à s'engager dans un processus de tâtonnement, de créativité et de constructivisme

en manipulant des paramètres, en établissant des rapports entre ces paramètres et en constatant les résultats générés par ces interactions. Cette étape devrait le conduire à une phase subséquente, celle, où il aurait à prédire le résultat probable des différents phénotypes qui seront issus d'un croisement donné et de définir, par la suite, les conditions expérimentales nécessaires pour vérifier sa prédiction. Au terme de sa démarche, l'élève devrait être en mesure de construire des relations formelles impliquant les facteurs manipulés.

Il semble utile de noter ici le caractère récent de la simulation par ordinateur comme outil pédagogique. Elle cherche, selon Hubert Van Blyenburgh (1987) et Richard-Milot (1996), à développer chez l'élève une meilleure compréhension des sciences expérimentales et ce, en le familiarisant avec les modes de pensée qui caractérisent ces disciplines. D'autres travaux précisent que les logiciels de simulation bien conçus stimulent chez les élèves une véritable attitude créatrice (Loiselle, 1987 ; Lauterbach et Frey, 1987). Il n'est donc pas surprenant de constater que les didacticiels récents sont de plus en plus orientés vers ce type d'activité. Il reste cependant que la simulation par ordinateur n'est en aucun cas destinée à remplacer totalement les travaux pratiques dans les laboratoires, mais plutôt à les compléter. Loiselle (1987), lui aussi, nous indique qu'au lieu de remplacer systématiquement les travaux pratiques au laboratoire, la simulation sur ordinateur ne devrait être proposée aux étudiants que lorsqu'une expérience au laboratoire est difficilement réalisable. Il précise par ailleurs que l'avènement de l'ordinateur dans les écoles permet non seulement d'utiliser la simulation comme outil dans la recherche scientifique, mais aussi de la présenter aux étudiants comme une méthode concrète d'investigation dans l'enseignement des sciences expérimentales. Plus loin, Loiselle (1987, p. 21) souligne que la simulation par ordinateur peut aider l'élève à bâtir mentalement ses propres modèles explicatifs du phénomène et donc à favoriser la construction de modèles théoriques.

Comme le développement d'un simulateur nécessite forcément des prises de décisions de la part du concepteur, dans ces conditions la qualité du produit est très déterminante afin d'éviter tout rejet par les utilisateurs. Divers travaux, notamment ceux de Blondel et Schwob (1985, 1996), Hebenstreit (1980), Milot (1996) et Loiselle (1987), attirent notre attention sur le fait que la conception de tels outils devrait être envisagée non pas en terme de savoirs à transmettre, mais en terme de démarche intellectuelle que le simulateur doit susciter chez l'étudiant. Deux perspectives se dégagent de ces travaux :

- dans la première perspective, la manipulation du simulateur par l'élève revêt une dimension investigatrice car il est appelé à prendre des initiatives, et à mener un travail de recherche, dans une situation qui est, toutes proportions gardées, assez proche de celle d'un vrai chercheur ;
- l'application de méthodes ou de connaissances déjà acquises. Dans cette seconde perspective la résolution de problèmes et d'exercices offre des possibilités pour consolider les apprentissages.

Ces deux orientations inspirent la conception de notre outil qui doit, lui aussi, intégrer à la fois un simulateur permettant à l'élève de manipuler des variables (caractères héréditaires) et un générateur d'exercices et de problèmes favorisant la consolidation des apprentissages et l'application des lois de Mendel. Ces propos, nous amènent à préciser les objectifs de notre travail et de spécifier les moyens qui vont nous permettre d'atteindre notre but.

1.6. But et objectifs de l'étude

Le but de ce travail n'est pas de démontrer une supériorité quelconque de la simulation par ordinateur sur d'autres types d'environnements pédagogiques. Notre intention n'est pas non plus de comparer les mérites de l'ordinateur par rapport à d'autres média d'enseignement. Le but de l'étude est de concevoir et de développer un simulateur qui permettrait aux élèves de conceptualiser les lois probabilistes de la génétique de Mendel et de résoudre des problèmes en génétique. Afin de concrétiser cette idée, il nous semble utile de fixer des pistes directrices qui devraient orienter notre entreprise. En effet, pour atteindre notre but, ce travail convoite huit (8) objectifs principaux qui sont :

- 1- effectuer une recension des écrits pour asseoir les fondements théoriques qui nous permettront de définir l'approche pédagogique du simulateur interactif que nous projetons de construire ;
- 2- analyser quelques modèles de recherche-développement pour pouvoir opérer un choix approprié d'un modèle qui nous garantirait une conception adéquate ;

- 3- mettre au point un modèle d'action pour opérationnaliser et pour préciser ce que le simulateur, une fois construit, permettra à l'étudiant d'accomplir comme apprentissage et de quelle manière il le fera ;
- 4- concevoir et élaborer un simulateur interactif, à l'état de prototype, qui incorporera à la fois des expériences simulées et des problèmes en génétique ;
- 5- concevoir et rédiger une documentation d'accompagnement, tant pour l'élève que pour l'enseignant, pour favoriser une utilisation appropriée de l'outil ;
- 6- soumettre le matériel élaboré (simulateur et documents d'accompagnement) à une mise à l'essai fonctionnelle auprès d'un groupe d'experts, afin de vérifier son adéquation tant sur le plan opérationnel que sur le plan pédagogique et procéder, au besoin, aux modifications nécessaires ;
- 7- soumettre le matériel amélioré (simulateur et documents) à une mise à l'essai empirique auprès d'un groupe d'étudiants dans le but, d'une part, de tester la facilité d'utilisation du simulateur ainsi que les documents d'accompagnement et, d'autre part, de vérifier la pertinence du simulateur comme support au raisonnement scientifique dans l'acquisition des lois probabilistes de Mendel selon une approche inductive ;
- 8- faire un retour critique sur le matériel élaboré dans le but d'apporter les réajustements qui s'imposent et, finalement, formuler des pistes de recherche pour des travaux ultérieurs.

Avant d'entreprendre ces étapes, il nous semble primordial de préciser quelques concepts clés, notamment les notions de "simulation" et de "modèle". Il nous paraît également nécessaire de distinguer les divers types de simulation par ordinateur en vue d'identifier le type qui sera retenu pour les fins de la présente étude. Ces points, que nous abordons dans le cadre conceptuel du prochain paragraphe, devraient permettre au lecteur de percevoir l'orientation globale des prochaines sections.

1.7. Cadre conceptuel

Dans les écrits les notions de "simulation" et de "modèle", sont souvent associées à des réalités différentes. Comme le souligne divers auteurs (Blondel et Schwob, 1985 ; Dufoyer, 1988 ; Gremy, 1988 ; Jenkins, 1987 ; Jolival, 1995 ; Loïselle, 1987), les distinctions entre ces deux concepts ne sont pas toujours clairement nuancées dans les écrits. Afin de mieux cerner la signification qui sera attribuée à la notion de "simulation" dans le cadre du présent travail, nous ferons une analyse conceptuelle de ces deux termes.

1.7.1. Définition du concept "modèle"

Les différentes contributions relatives à la modélisation que nous avons consultées citent souvent des auteurs qui ont centré leur réflexion sur l'étude des modèles dans le but de circonscrire le sens accordé à la notion de "modèle". Il nous paraît utile de faire une brève analyse de ce concept.

Selon Caverni (1988), cette notion est employée dans des contextes divers et avec des acceptions variées. Les définitions attribuées à ce terme vont de celles qui sont strictement mathématiques exprimant de façon précise une théorie (Badiou, 1970 ; Rouanet, 1967 ; Walliser, 1977), jusqu'aux définitions plus vagues qui qualifient le modèle de "représentation", "figuration" ou "schématisation" (Clément, 1994 ; Leplat, 1984 ; Martinand et Giordan, 1987). Si ce concept n'est pas perçu de la même façon dans les travaux, l'accord semble par contre unanime pour identifier les critères qui le caractérisent (Caverni, 1988). Selon cet auteur, deux critères principaux contribuent à définir un modèle formel. Pour lui, un modèle doit d'abord rendre compte de tous les faits qu'il décrit, autrement dit il doit être exhaustif ; ensuite, il doit être explicite et simple. C'est dans la simplicité du modèle, note Rouanet (1967), que se trouve l'intérêt de la modélisation, puisqu'elle rend les phénomènes étudiés plus intelligibles. L'Écuyer, cité par Goupil et Lusignan (1993, p. 170), nous apprend de son côté que "même bien détaillés, les modèles sont plutôt des simplifications de la réalité puisqu'ils présentent celle-ci sous un angle particulier ou sous une forme partielle".

Au sens où on l'entend aujourd'hui dans les sciences expérimentales, le terme de modèle, selon Hebenstreit (1980, p. 12), renvoie à l'expérimentation elle-même. En effet, pour étudier un phénomène on commence par faire des expériences en vue d'accumuler un certain nombre d'observations. À partir de ces faits, on cherche à imaginer un mécanisme, c'est-à-dire un "modèle" qui explique le phénomène et qui permet de répondre aux deux questions suivantes dans l'ordre de difficulté croissant : comment ? pourquoi ? Un modèle ayant été imaginé, il faut le valider, autrement dit le vérifier par une simulation. Le modèle est donc l'élément central de la simulation (Astolfi et Develay, 1989 ; Jolival, 1995). C'est une représentation abstraite ou physique d'un système réel ou hypothétique dans lequel les relations sont en interaction dynamique. Comme la construction d'un modèle est inhérente à la simulation, il convient alors de définir celle-ci.

1.7.2. Définition du concept "simulation"

Le concept de simulation implique la représentation d'une situation réelle. Cette représentation possède toutefois un caractère dynamique. Sauvé (1983), définit la simulation comme une représentation dynamique de la réalité à l'aide d'un modèle qui serait manipulé pendant un temps déterminé. Cette définition fait donc appel au concept de modèle ; sauf que les deux termes ne sont pas équivalents et n'ont pas la même signification. D'ailleurs, Lunetta et Hofstein (1981) précisent que le terme de simulation ne désigne pas le modèle élaboré mais fait plutôt référence au processus d'interaction avec ce modèle. Les définitions proposées par Gouillard (1986), Leight (1983), Michaud et Michaud (1986) vont dans le même sens et font ressortir également l'aspect dynamique qui caractérise la simulation. Pour eux, la simulation est une activité dans laquelle un modèle est opérationnel ; elle est associée à une activité qui conduirait à une interaction avec le modèle représentant le phénomène étudié.

Cette définition semble être conforme à celles proposées par Jenkins (1987) et Pidd (1984) qui, en plus d'associer la simulation à une représentation d'un fait réel, soulignent aussi son caractère dynamique par la manipulation du modèle. En insistant sur le caractère dynamique du modèle, ces travaux semblent mieux préciser le concept de la simulation en lui accordant le caractère représentatif, dynamique et opérationnel. Avec Jenkins (1987) et Pidd (1984), nous entendons par simulation toute représentation dynamique opérationnelle centrée sur la manipulation d'un modèle par investigation avec droit à l'erreur. Même si elle n'est pas

énoncée dans les mêmes termes utilisés par les auteurs précités, la définition de la simulation semble être formulée de façon quasi identique dans d'autres études (Braunschweig, 1984 ; Loisel, 1987). Pour ces auteurs, il faut éviter toute conception non raisonnée de la simulation, surtout celle qui propose a priori une application de données dans le but de vérifier l'exactitude d'un modèle. Pour Braunschweig (1984), une simulation doit s'inscrire dans un contexte d'expérimentation. Ainsi, une simulation dépouillée de son caractère dynamique, donc de sa phase modélisante, risque de vider l'acte pédagogique de ses propres finalités. Notre travail s'inscrit dans la voie tracée par cet auteur. Notre simulateur devra, lui aussi, être élaboré sur la base d'une approche inductive modélisante et évitera l'option d'une simple application de lois. Aux yeux de l'enseignant la simulation des expériences sur les lois probabilistes de Mendel serait analytique, alors que pour l'étudiant la représentation du phénomène et son élaboration aurait une empreinte inductive, synthétisante.

C'est dans cet esprit que Baudrillard (1981) exprime ses craintes. Il souligne le danger de voir des expériences réelles être remplacées par des simulacres d'expériences ou, selon ses propres termes, par des "simulations-fantômes". Pour lui, une simulation située dans un cadre pédagogique où l'élève peut vivre un raisonnement inductif modélisant a plus de valeur formatrice qu'une simulation qui propose une simple application d'une loi déjà connue.

Pour mieux circonscrire notre travail dans le cadre d'une simulation particulière, il semble nécessaire d'analyser les types de simulation par ordinateur proposés par les écrits.

1.7.3. Types de simulation par ordinateur

Selon Beaufils et *al.* (1987) de même que pour Hebenstreit (1980), la simulation par ordinateur peut revêtir diverses formes et viser des buts variés. Ces auteurs, distinguent trois catégories de simulation qui peuvent être exploitées sur ordinateur : expérimentale, évaluative et prédictive.

La simulation expérimentale vise la validation du modèle qui représente le phénomène. De ce fait, la qualité du modèle sur lequel repose la simulation est jugée en fonction des résultats générés par la simulation et ceux obtenus en réalité.

La simulation évaluative permet de déterminer un ensemble de données pour produire un résultat escompté. Dans ce type de simulation, on fixe les meilleures conditions pour atteindre le but visé.

La simulation prédictive est utilisée dans le but de provoquer des apprentissages liés à un phénomène donné. Elle permet ainsi de faire une projection sur les conséquences d'une situation donnée. Elle favorise, chez l'étudiant, l'émergence d'hypothèses et de représentations explicatives du phénomène simulé ou l'acquisition de connaissances ou de comportements particuliers reliés à ce phénomène.

Si les deux premières catégories sont centrées principalement sur le phénomène simulé, la simulation prédictive joue plutôt un rôle d'interface entre le phénomène représenté et l'apprenant. Elle vise, à la fois, l'établissement d'un lien entre l'apprenant et le produit didactique et la production de nouvelles connaissances scientifiques. C'est pourquoi la présente étude s'intéresse davantage à cette dernière forme de simulation plutôt qu'aux deux premières. Nous reviendrons plus en détails sur cette forme de simulation lors du prochain chapitre, soulignons toutefois que les trois catégories indiquées ci-haut ne sont pas exclusives. La frontière entre les trois formes n'est pas étanche. Un logiciel peut intégrer plus d'un seul mode de simulation et ceci en fonction des finalités visées. C'est pourquoi le choix d'un type particulier de simulation a des incidences sur les caractéristiques du didacticiel à concevoir. Une simulation de type prédictif présentera le phénomène à partir d'un modèle simplifié afin de faciliter la compréhension. Alors que les deux autres seront plutôt bâties sur la base d'un modèle complexe puisqu'elles chercheront à représenter fidèlement le phénomène dans sa totalité.

Comme l'élaboration de tout outil didactique, et à plus forte raison un simulateur assisté par ordinateur, nécessite des prises de décisions complexes de la part du concepteur, donc des choix, nous devons alors répondre à une série de questions, entre autres, le matériel représente-t-il adéquatement le phénomène simulé ? tient-il compte des propriétés et des limites du média choisi ? possède-t-il une qualité pédagogique certaine ? favorise-t-il une stratégie pédagogique particulière ? Ces questions relèvent de deux types de considérations : les unes sont d'ordre théoriques, psychologiques et didactiques, les autres sont d'ordre pratiques, méthodologiques et technologiques.

Les considérations pratiques, méthodologiques et technologiques, pour déterminer le modèle de développement seront exposées dans le cadre méthodologique de la présente étude, au troisième chapitre (chapitre 3).

Quant aux considérations théoriques, psychologiques et didactiques, pour identifier l'approche pédagogique qui sera adoptée par le simulateur, elles sont présentées dans le chapitre subséquent (chapitre 2). Notre intention est de bâtir l'ensemble des activités du didacticiel autour de deux stratégies qui articulent, à la fois, l'approche inductive et la résolution de problèmes. Nous examinerons donc, dans le prochain chapitre, les modèles didactiques et les théories qui réfèrent à ces deux démarches.

Comme notre outil est un instrument didactique qui incorpore à la fois des expériences simulées en génétique et des problèmes pour permettre à l'utilisateur de consolider ses apprentissages dans ce champ d'étude, nous avons choisi d'instruire la conception de son approche pédagogique à partir de trois courants théoriques : le courant "constructiviste" piagétien, la théorie du traitement de l'information et le courant de la "Lunette cognitive" de Nonnon (1986).

Le courant piagétien, pour y extraire les fondements relatifs à l'apprentissage constructif qui s'édifie par l'action réciproque entre le sujet et l'objet.

La théorie du traitement de l'information pour identifier les travaux qui ont proposé des modèles incorporant des procédures autorégulatrices permettant à l'étudiant, en situation de résolution de problèmes, d'atteindre une solution optimale.

Finalement, nous examinerons le modèle de la "Lunette cognitive" de Nonnon (1986) dans le but de préciser les principes liés aux stratégies d'apprentissage déployées par l'apprenant en phase de modélisation et en phase de simulation, avec et sans ordinateur.

Nous terminons ici le premier chapitre au cours duquel nous avons fait une analyse contextuelle de l'enseignement de la biologie au secondaire marocain, particulièrement celle de l'enseignement de la génétique. Au cours de cette analyse, nous avons souligné quelques

obstacles qui entravent la mise en oeuvre de l'expérimentation concrète en génétique. Parmi ces obstacles certains sont d'ordre didactique, d'autres sont d'ordre épistémologique. Pour pallier à ces difficultés, nous avons formulé une proposition que nous précisons, une autre fois de plus, ici. Il s'agit : de concevoir, d'élaborer et de mettre à l'essai un simulateur interactif utilisant une approche inductive modélisante pour permettre aux étudiants d'appréhender les lois probabilistes de la génétique mendélienne.

Afin d'atteindre ce but, nous avons fixé huit (8) objectifs destinés à orienter notre travail en vue de concrétiser le matériel didactique visé. De plus, une analyse conceptuelle nous a permis de cerner la signification de deux concepts clés, modèle et simulation, pour mieux préciser leur sens dans le cadre de la présente étude. Finalement, cette première partie du travail dévoile l'orientation des deux chapitres subséquents. Le prochain chapitre est consacré à la présentation et à la discussion du cadre théorique ; quant au troisième chapitre, il aborde des aspects d'ordre méthodologiques.

CHAPITRE 2
CADRE THÉORIQUE

Dans le domaine des sciences de l'éducation, l'enseignant est confronté à de nombreux problèmes notamment à celui de la diversité des modèles d'enseignement. Leur foisonnement risque d'éclipser le vrai problème. Pour aussi peu, on a presque envie de dire qu'ici c'est "la forêt qui cache l'arbre". Que dire de tant de modèles, d'approches, de techniques qui sont employés, apparemment, de façon judicieuse mais sans compréhension aucune ? En effet beaucoup d'éducateurs se sont fourvoyés dans l'inextricable forêt des procédés, des techniques et des stratégies oubliant totalement les fondements de l'apprentissage. Aussi, sans philosophie directrice, toute démarche pédagogique n'est que technique sans âme. Pour rendre son approche pédagogique plus crédible, chaque professeur doit avoir une connaissance éclairée des fondements théoriques qui régissent l'apprentissage ; sa vision doit légitimer sa pratique, ses objectifs, ses valeurs et ses croyances.

Ainsi, le premier point, analyse les principales théories psychologiques de l'apprentissage. Cette analyse portera surtout sur les théories cognitivistes, entre autres, celle de Piaget et la théorie du traitement de l'information. À travers ces considérations théoriques générales, nous tenterons d'identifier les aspects qui ont alimenté la recherche en didactique des sciences. Notre but est d'assortir chacune de ces théories de quelques modèles qui ont inspiré notre travail. Il sera question, entre autres, des modèles de Bruner, de Chadwick et de Gagné.

La seconde partie, réservée à des considérations théoriques plus spécifiques, dégagera les étapes liées à la démarche utilisée par l'élève lors de la modélisation et de la simulation avec et sans ordinateur. Pour mieux expliquer les voies empruntées dans l'acquisition des connaissances par induction et déduction, nous ferons appel au paradigme de "La lunette cognitive" de Nonnon (1986). Notre objectif est d'articuler les principes du modèle de Nonnon à la démarche pédagogique que doit suivre l'élève à l'aide du simulateur

Enfin, la troisième section présente quelques modèles reliés à la résolution de problèmes. Nous insisterons surtout sur les modèles qui incorporent des procédures régulatrices assurant une solution optimale lors de la résolution de problèmes. Nous accorderons une attention particulière au modèle proposé par Gombert et Fayol (1988). Notre but est d'identifier à travers ce modèle une stratégie qui permettrait à l'étudiant de vérifier l'adéquation de sa solution avant même de soumettre celle-ci à la correction par l'ordinateur.

2.1. Considérations théoriques d'ordre général

Plusieurs théories se sont érigées pour expliquer comment a lieu le processus d'apprentissage, quelles sont les conditions qui le facilitent et comment évoluent les connaissances une fois acquises ? À quoi servent les processus mentaux ? Que font-ils ? Comment travaillent-ils ? Ayant, largement puisé dans les écrits, nous avons repéré des ouvrages qui analysent la position de chacune des grandes écoles psychologiques.

Parmi les travaux qui ont tenté de mieux élucider les fondements des théories psychologiques, nous trouvons, entre autres, Dubé (1990), Goupil et Lusignan (1993) ainsi que Joyce et *al.* (1992). Ces derniers, par exemple, nous apprennent qu'il y a quatre écoles relatives à l'apprentissage : la première met l'accent sur le développement cognitif de l'apprenant (théorie cognitive) ; la seconde vise le développement de la personne et porte une attention particulière à la vie affective de l'apprenant (théorie humaniste) ; la troisième est axée sur l'interaction sociale entre l'individu et la société (théorie interactionniste) et, enfin, une quatrième école préconise que l'apprentissage est davantage lié à l'influence du milieu externe qu'à la structure interne de l'apprenant (théorie behavioriste). Goupil et Lusignan (1993) tentent, de leur côté, de mettre de l'ordre dans la typologie des théories d'apprentissage en les classant en deux grandes écoles : l'école cognitiviste et behavioriste. Dubé (1990), qui en plus de déplorer l'existence de sérieuses divergences entre les théories d'apprentissage, considère qu'elles retardent le progrès de la pédagogie. Il écrit en substance :

"On assiste à une floraison de théories, d'écoles, d'approches et de modèles qui semblent s'orienter dans toutes les directions au point qu'il est assez difficile de s'y connaître. Tout étudiant soucieux de comprendre l'apprentissage et les lois qui le régissent peut, avec raison, s'y perdre" (p. 51).

Si la plupart des recherches réservent le terme "interactionnisme" à la théorie de Piaget, certains travaux attribuent cette notion aux théories qui combinent, à la fois, des éléments appartenant tant au mouvement behavioriste qu'au mouvement cognitiviste (Goupil et Lusignan, 1993 ; p. 12). Afin d'éviter toute confusion, et à l'instar de Dubé (1990), nous utiliserons, sans distinction aucune, les termes interactionnisme et cognitivisme pour désigner la théorie piagétienne. Comme notre travail s'inscrit davantage dans le cadre de la théorie

cognitiviste, notamment celle fondée par Piaget et de la théorie du traitement de l'information, nous n'accordons qu'une mince place à la théorie behavioriste.

2.1.1. Le behaviorisme

Le behaviorisme, ou comportementalisme, a profondément marqué la naissance de la psychologie. En rompant avec la tradition philosophique d'introspection, il a structuré son approche en proposant une base expérimentale à l'étude des comportements. Le behaviorisme est centré sur les faits observables qui sont de deux sortes : les caractéristiques de la situation où l'on place le sujet et le comportement du sujet dans la situation ; autrement dit, le "stimulus" et la "réponse". Selon cette théorie, apprendre se résume à produire une réponse précise à un stimulus particulier. Pour y parvenir, on doit décomposer les apprentissages complexes en unités plus simples. Ce réductionnisme a en fait vite trouvé ses limites, et le behaviorisme au sens strict a perdu la place qu'il a occupé auparavant. Sauf que son influence directe, dans l'enseignement de façon générale et scientifique en particulier, demeure grande. Malheureusement peu d'enseignants s'intéressent aux fondements des théories psychologiques. Divers travaux soulèvent ce fait. Johsua et Dupin (1993), soulignent à ce titre que "Très souvent, le public-enseignant ignore les liaisons entre certaines écoles pédagogiques et le sous-bassement behavioriste" (p. 74). Les travaux de ces auteurs, nous révèlent deux principales caractéristiques communes aux options de type comportementaliste :

-Le processus des apprentissages est cumulatif, sans rupture et restructuration ; ceci englobe la juxtaposition des connaissances (Skinner), où l'apprentissage est strictement hiérarchique, comme c'était le cas chez Gagné (1970) avant qu'il n'intègre à son modèle d'apprentissage une conception issue des théories de l'information.

-Il en découle qu'il est possible de décomposer les connaissances complexes en éléments plus simples. Les éléments doivent être indépendants, pourvu qu'ils soient suffisamment "petits" pour convenir à une définition précise.

Malgré son influence considérable dans le domaine de l'éducation, à cause de sa forte composante expérimentale, le behaviorisme n'a livré que des réponses partielles sur les processus d'apprentissage. Les reproches formulées à son égard portent essentiellement sur la façon de réduire les apprentissages complexes à des éléments réduits. Pour parler en

termes d'épistémologie, les objets étudiés y sont trop "petits", mal calibrés. Aussi arrive-t-il souvent que le didacticien, déçu de ne pas y trouver des outils à la mesure de ses besoins, s'en détourne, le cas échéant, après avoir été momentanément séduit par telle ou telle approche. Johsua et Dupin (1993), affirment que "la majorité des travaux en didactique des sciences s'écartent du behaviorisme sous ses différentes formes, et s'en tiennent au constructivisme" (p. 71). Y a-t-il dans cette assertion autre chose qu'un choix arbitraire ? Évidemment, nous n'avons nullement la prétention de spéculer sur un point qui demeure encore controversé et imprécis. Notre interrogation tentera de cerner les problèmes, de décrire les types de réponses existantes et de souligner les choix opérés par la didactique des sciences. Pour cela, nous nous limitons à ce qui, dans le cognitivisme, concerne, peut concerner ou prétend concerner non l'apprentissage en général, mais exclusivement celui des sciences expérimentales.

2.1.2. Le cognitivisme

Les apprenants, sont régulièrement sollicités pour assimiler et apprendre de nouvelles informations. Ils doivent intégrer ces connaissances à celles qu'ils possèdent déjà. Comment procèdent-ils ? Comment arrivent-ils à réutiliser les connaissances acquises ? Toutes ces questions relèvent de l'apprentissage et semblent être la préoccupation centrale de la psychologie cognitive.

Les activités mentales qu'exerce un sujet pour emmagasiner, transformer et utiliser l'information sont appelées processus cognitifs. Elles englobent, à la fois, des opérations simples et d'autres plus complexes. La compréhension de ces processus est essentielle à la pratique de l'enseignement, d'où l'édification de divers modèles pour expliquer leur fonctionnement. Certains de ces modèles sont analysés dans les sections ultérieures. Auparavant, il nous semble important de présenter sommairement quelques principes liés à une ancienne conception qui a frayé la voie au cognitivisme, la gestaltthéorie.

2.1.2.1. La gestaltthéorie

Bien qu'elle s'intéresse surtout aux perceptions, plusieurs travaux, notamment Dubé (1990, p. 161) ainsi que Goupil et Lusignan (1993, p. 45), soulignent que les gestaltistes

sont les ancêtres de la psychologie cognitive. *L'insight*, qui fut proposé pour rendre compte de l'émergence soudaine et inattendue d'une solution, est un concept clé chez les artisans de cette théorie. *L'insight* est en rapport avec la créativité, une valeur d'une grande importance en éducation. Comme notre outil doit intégrer à la fois des expériences simulées et des problèmes, nous verrons plus loin quelques modèles qui explicitent mieux le processus de la résolution de problèmes. Soulignons toutefois que, selon la perspective de la gestalt, la résolution de problèmes, se fait en cinq étapes principales: 1) la détermination du problème; 2) l'incubation et la réflexion; 3) *l'insight*; 4) la solution; 5) la généralisation des solutions acquises (Dubé, 1990, p. 187; Goupil et Lusignan, 1993, p. 49).

Malgré son insistance sur les processus internes pour expliquer l'apprentissage, la gestaltthéorie n'a pas réussi à résoudre le dilemme entre l'hérédité et le milieu. Une théorie différente, riche d'explications nouvelles quant aux rapports entre l'inné et l'acquis, s'élabore grâce à Piaget. Les principes de cette théorie sont exposés ci-après.

2.1.1.2. La théorie de Piaget

Piaget a fondé sa psychologie en la plaçant dans le contexte global de l'interaction du sujet et du milieu ($S \Leftrightarrow M$). À cet égard, sa théorie est dite interactionniste. Piaget est plus qu'un interactionniste, il est constructiviste en ce sens que, pour lui, l'enfant contribue activement à la construction de sa personne et de son univers.

Afin de saisir la profondeur des idées piagésiennes, avec tout ce qu'elles véhiculent comme concepts, hypothèses, méthodes de travail, stades de développement et styles cognitifs, nous avons mené notre réflexion à partir des œuvres maîtresses écrites par Piaget lui-même (Piaget, 1969, 1974, 1975a, 1975b) ou celles produites par d'autres auteurs qui ont essayé soit de résumer sa perspective soit de développer un de ses aspects particuliers. Les auteurs qui ont retenu notre attention sont Bastien (1987), Dolle (1987), Giordan et *al.* (1994b) et Vinh Bang (1989).

Piaget préconise la nécessité d'utiliser différentes expériences pour manipuler des objets, de procéder à des essais concrets et de faire réfléchir les enfants sur les résultats de leurs expériences ou sur les questions qu'ils soulèvent. Cette vision est largement partagée

par de nombreux didacticiens (Astolfi et *al.*, 1984 ; Astolfi, 1994 ; Giordan et *al.*, 1994a). La spécificité de la théorie piagétienne, c'est qu'elle postule que le développement du sujet n'est pas linéaire, mais qu'il est conditionné par des étapes relativement stables. Même si Piaget n'a jamais proposé explicitement une application de la psychologie génétique au domaine scolaire (Vinh Bang, 1989), ses idées sont par contre interprétées et appliquées par des didacticiens, notamment en sciences et en mathématiques (Johsua et Dupin, 1993). Les applications de la psychologie piagétienne touchent aux principes reliés à l'organisation de l'environnement éducatif, aux contenus à dispenser, à la séquence des programmes, aux méthodes d'enseignement et à l'évaluation des apprentissages.

Piaget croit que les sujets développent des niveaux de pensée de plus en plus complexes à des stades définis. Chaque stade se caractérise par l'acquisition de nouveaux concepts ou structures intellectuelles que Piaget (1974) appelle des schèmes. Même si le concept de schème est un terme auquel on a reproché sa grande généralité voire sa polysémie, il n'en demeure pas moins qu'il a permis à la psychologie génétique d'accomplir des pas décisifs, notamment dans l'organisation du monde extérieur de l'individu (Bastien, 1987 ; Dolle, 1987).

L'idée centrale qui se dégage de la position structuraliste-cognitiviste, c'est par le processus d'assimilation que l'être humain acquiert et intègre les nouvelles expériences. Il s'accommode à celles-ci en changeant sa façon de penser, c'est-à-dire, à vaincre la difficulté représentée par cette résistance (Piaget, 1975b ; Bastien, 1987). Il y a ainsi, selon les propres termes de Dolle (1987), recherche constante entre équilibration et déséquilibration par assimilation et accommodation avec les objets sur lesquels est portée l'activité. Dans cette recherche permanente entre équilibration et déséquilibration, le sujet s'autoconstruit, s'autotransforme, s'autorégule. Par ce processus incessant, le sujet acquiert des connaissances nouvelles de plus en plus complexes (Bastien, 1987 ; Dolle, 1987). Les schèmes évoluent quantitativement, par assimilation généralisatrice, mais aussi quantitativement par accommodation. Pour Piaget, c'est l'action combinée de ces deux processus qui rend compte de l'existence des schèmes et, par conséquent, de leur organisation. Bastien (1987) d'une part, Dolle (1987) d'autre part rapportent que Piaget distingue deux catégories de schèmes. Les uns sont simples et visibles comme ceux utilisés par n'importe quel sujet (regarder, saisir, se déplacer), d'autres sont plus complexes et moins perceptibles (classer, comparer, additionner).

Bastien (1987) mentionne que plusieurs recherches ont centré leurs travaux sur l'étude des schèmes complexes, surtout celles qui se basent sur la résolution de problèmes par les élèves. Ces études tentent de saisir la façon dont l'élève parcourt les éléments de l'énoncé, les types de relations qu'il est capable d'établir entre eux et les types d'actions qu'il effectue sur ces éléments. Sans aller plus loin, signalons que le troisième point (2.3) du présent chapitre est consacré à l'analyse des travaux qui ont accordé une importance à la question de la résolution de problèmes.

Pour Piaget, le développement des schèmes se produit dans le même ordre chez tous et selon un rythme relativement prédéterminé. La théorie "cognitiviste" piagétienne propose une suite de stades (Dolle, 1987 ; Goupil et Lusignan, 1993), qui sont :

- le stade sensori-moteur (0 à 2 ans) ;
- le stade pré-opératoire (2 à 7 ans) qui comprend deux sous-stades : la pensée pré-conceptuelle (2 à 4 ans) et la pensée intuitive (4 à 7 ans) ;
- le stade opératoire (7 à 16 ans) qui se divise en deux sous-stades : la pensée opératoire concrète (7 à 11 ans) et la pensée opératoire formelle (11 à 16 ans).

Piaget souligne que ces stades ne sauraient s'appliquer de façon intégrale aux situations scolaires. Si l'approche inductive qu'il préconise a généré des résultats intéressants, sa transposition comme démarche pour enseigner les lois probabilistes de la génétique aux étudiants du secondaire et post-secondaire, à l'aide d'un simulateur interactif, nous paraît une piste riche et prometteuse.

Un didacticien, selon cette perspective, devrait donc organiser l'environnement de l'apprentissage, évaluer la pensée des élèves, les inciter à explorer et à manipuler les objets. Au lieu de mettre l'accent sur les contenus, l'enseignant devrait orienter ses élèves à observer à analyser, à expérimenter et à faire de la recherche. C'est de cette façon que l'école pourra mieux assurer le développement des élèves parce qu'elle créera des environnements sociaux, physiques et intellectuels plus riches dans lesquels les élèves pourront s'adapter, c'est-à-dire assimiler ces environnements et accommoder leur conception à ceux-ci.

Contrairement au behaviorisme dont les principes sont explicitement centrés sur l'apprentissage, la théorie constructiviste piagétienne est une théorie du développement de l'intelligence qui donne peu d'indications et de place aux effets d'un enseignement, de type scolaire par exemple. En effet, Giordan (1994) nous révèle que la plupart des théories de l'apprentissage, à commencer par celle de Piaget, ne disent rien, ou presque, sur les activités de l'apprenant, sur les situations scolaires ou sur les interventions facilitantes de l'enseignant. D'autres travaux (Giordan, 1994 ; Giordan *et al.*, 1994a ; Giordan, 1995b), soulignent que la théorie piagétienne a eu surtout le mérite d'exister pour combler un vide en fournissant des outils d'appréhension ou des hypothèses de recherche dont les résultats sont peu convaincants. Selon Giordan (1994, p. 301), par exemple, la connaissance des mécanismes cognitifs est nécessaire mais elle est fort insuffisante pour inférer le contexte ou la nature de la stratégie pédagogique. Pour lui, ce sont les stratégies pédagogiques facilitantes dont les enseignants ont le plus besoin de connaître. Tenant compte de toutes ces limites, il nous semble alors légitime de se demander pourquoi donc les didacticiens ont-ils tiré autant de conséquences pédagogiques de cette théorie ? Cette question peut sembler provocante et paradoxale lorsqu'on considère la masse des travaux élaborés par un grand nombre d'auteurs qui ont cherché un appui chez Piaget pour produire des modèles pédagogiques, c'est le cas notamment du modèle de Bruner que nous présentons dans la section suivante.

a) L'apprentissage par la découverte selon Bruner

L'approche pédagogique privilégiée pour asseoir les prémisses de la démarche didactique proposée par notre simulateur s'inspire en grande partie du modèle "apprentissage par la découverte" proposé par Bruner.

Influencé par les travaux de Piaget, Bruner (1966) distingue trois modes de représentation successifs dans la conceptualisation des connaissances : le mode actif, le mode iconique et le mode symbolique ou abstrait. Ces trois modes se présentent dans une séquence développementale, analogue à la séquence des stades de développement de Piaget.

- Dans le mode actif, les connaissances sont surtout acquises par des actions directes sur l'environnement. Elles sont élaborées à partir des expériences sensori-motrices de l'individu.

- Le mode iconique, favorise l'acquisition des connaissances par la manipulation d'objets concrets ou leurs images ou représentations.
- Le mode symbolique, est celui par lequel les connaissances sont acquises par la manipulation de concepts abstraits.

Selon cet auteur, une stratégie d'enseignement qui vise l'apprentissage de concepts s'efforcera d'intervenir successivement à ces trois niveaux.

De plus, dans sa conception relative à l'acquisition des connaissances, Bruner et *al.* (1986) font part de la motivation intrinsèque de l'apprenant qui, à leurs yeux, doit se fonder le plus possible sur la stimulation de l'intérêt pour l'objet d'apprentissage.

À ce titre, ils distinguent deux approches d'enseignement : la première est basée sur l'exposition, alors que la seconde est axée sur la découverte. Dans le premier cas, le mode de présentation de la matière relève exclusivement de l'enseignant ; l'élève est passif. Dans le second cas, l'élève joue un rôle actif. Bruner (1966) insiste sur le fait que l'enfant doit participer activement à son apprentissage et ne pas être simplement le réceptacle passif des connaissances qu'on lui transmet.

Dans le cadre de cette seconde approche, l'auteur indique que l'acte d'apprentissage comporte trois processus presque simultanés : l'acquisition d'une nouvelle connaissance, son application à d'autres tâches et, finalement, son évaluation pour vérifier si l'information manipulée est adaptée à la tâche. Selon lui, l'élève peut tirer de nombreux avantages de ses explorations : l'augmentation de son potentiel intellectuel, la transformation de ses motivations extrinsèques en motivations intrinsèques, l'acquisition d'habiletés en résolution de problèmes (apprentissage heuristique) et l'amélioration du processus de mémorisation.

Les idées de Bruner sont à la base des réformes des années soixante-dix, aussi bien en sciences expérimentales qu'en mathématiques. Elles sont fondées sur une hypothèse psychologique, qui affirme que l'élaboration des structures abstraites se fait moyennant une étape où l'élève est confronté à des problèmes (l'investigation). Son hypothèse tire ses racines de la position positiviste sous son versant empiriste d'un côté (je manipule, donc

j'élabore), et réfutationniste naïf de l'autre (les contradictions issues d'hypothèses non confirmées conduisent à un déséquilibre, puis à la mise en place de nouvelles relations et structures plus performantes).

Bruner (1966) préconise tout spécialement l'utilisation de quatre (4) techniques pédagogiques. La première repose sur l'emploi des contrastes, qui consiste à nuancer les éléments qui doivent être distingués par l'élève. La deuxième utilise des simulations pour amener l'enfant à formuler des hypothèses. La troisième fait appel à la participation active par l'intermédiaire de jeux, où on y présente les caractéristiques du phénomène étudié. Enfin, la quatrième est axée sur l'éveil de l'élève quant aux stratégies utilisées pour apprendre.

De ce qui précède, on constate que Bruner accorde une importance capitale aux découvertes et aux explorations dans l'acquisition des connaissances. Sauf que son approche a suscité plusieurs interrogations, notamment en ce qui a trait au degré d'intervention de l'enseignant et la manière dont celui-ci doit guider l'élève dans son processus d'apprentissage. Mayer, cité par Goupil et Lusignan (1993, p. 56), se demande quelle est la part réservée à l'enseignant pour orienter l'élève dans ses apprentissages ? Quand et à quel moment doit-il intervenir ? Bruner (1966) croit que de nombreux éducateurs ont tendance à confondre entre l'apprentissage par "découverte" et l'apprentissage "machinal". Il souligne à cet égard que le soutien de l'enseignant peut s'exercer selon trois modes : 1) la découverte autonome, où l'élève est appelé à construire ses propres connaissances et où l'intervention de l'enseignant est nulle ; 2) la découverte guidée, où l'enseignant fournit certains indices pour aider l'élève dans sa démarche pour résoudre le problème ; 3) le mode fondé sur l'exposition magistrale, où l'enseignant présente de nouveaux concepts à l'apprenant sans aucune participation de ce dernier. Gagné et Brown, cités par Goupil et Lusignan (1993, p. 55), précisent que les deux premiers modes donnent de meilleurs résultats quant à la rétention à long terme des informations et au transfert des apprentissages.

Selon la conception organique, nous ne croyons pas que le rôle de l'enseignant consiste à ne rien faire. Le problème n'est pas de ne pas intervenir mais de savoir quand et comment intervenir. Il s'agit d'intervenir non pas de l'extérieur ni de façon égocentrique en décidant pour les autres, mais en se plaçant du point de vue du sujet qui apprend en adoptant ses schèmes de références, en percevant ses intérêts, ses motivations et ses capacités.


Si le modèle de Bruner convient à l'esprit de l'approche pédagogique que nous voulons incorporer à notre outil, puisqu'il nous propose des lignes directrices quant à l'apport de la démarche par la découverte dans l'élaboration des connaissances, il nous paraît toutefois incomplet vu qu'il ne fait aucune indication au rôle des aides didactiques et encore moins aux supports technologiques pour appuyer l'élève dans sa démarche investigatrice. Le modèle de Chadwick (1981), en plus de s'inscrire dans la même pensée que celle de Bruner, nous renseigne sur l'utilisation des outils technologiques pour soutenir l'apprentissage des étudiants.

b) Modèle technologique de Chadwick

Les nouvelles technologies ont eu un impact potentiel sur les modèles d'enseignement et leur introduction dans le domaine de l'éducation a facilité la mise en place d'alternatives aux modèles traditionnels. Le modèle technologique de l'éducation suggéré par Chadwick (1981) est sous-jacent à la présente étude.

Son modèle se caractérise par l'utilisation de divers types de médias d'enseignement, par la recherche active de l'élève et la mise en place d'une démarche individualisée, par le choix d'un mode d'évaluation de type formatif et sommatif et par un contenu centré davantage sur le traitement de l'information que sur la mémorisation des connaissances. Son modèle vise surtout le développement d'habiletés reliées à la méthode scientifique à l'aide de supports technologiques. Les habiletés dont il est question dans son approche sont : habileté à formuler des hypothèses, habileté à mettre au point des stratégies visant à confirmer ou à infirmer ces hypothèses, habileté à analyser les résultats obtenus et à évaluer la justesse d'une hypothèse ou d'un modèle explicatif. La simulation est considérée comme un outil de développement de ces habiletés plutôt qu'un moyen de démontrer l'exactitude d'une loi déjà connue par l'élève.

En résumé, notre travail, en plus de s'inscrire dans le cadre de la théorie piagétienne, notamment dans l'approche par la découverte proposée par Bruner et dans l'approche technologique suggérée par Chadwick, s'inspire également de la théorie du traitement de l'information, plus précisément des modèles qui font un parallèle dans le traitement de l'information entre l'humain et l'ordinateur.




Selon Fortin et Rousseau (1989), les stimuli externes (sons, odeurs et autres) sont d'abord captés par les récepteurs sensoriels. Ils sont, ensuite, véhiculés au registre sensoriel (mémoire sensorielle) où ils sont retenus pendant une brève durée. Si aucun effort de concentration n'est fourni, ces stimuli seront tout simplement effacés.

Ces mêmes auteurs, nous apprennent que l'information ne peut être réduite à la simple réception du stimulus. Une fois enregistrée et emmagasinée en mémoire sensorielle, l'information est analysée. Ses caractéristiques sont alors identifiées et catégorisées, selon les connaissances théoriques et pratiques antérieures du sujet.

À ce stade, les ressources cognitives doivent être mobilisées pour mieux appréhender l'information. Cette phase de la vigilance est importante, car elle implique l'attention du sujet. L'aspect sélectif peut concerner un seul message et en éliminer ceux qui ne sont pas pertinents.

Une fois interceptée et analysée au niveau de la mémoire sensorielle, l'information est transmise à la mémoire à court terme. Appelée aussi mémoire de travail, elle a pour fonction de stocker les informations reçues pendant une période très réduite. Selon Dubé (1990), Fortin et Rousseau (1989) de même que Goupil et Lusignan (1993), la mémoire à court terme serait constituée d'un ensemble de modules en interaction, sorte de dossiers regroupant plusieurs fichiers. Elle est perçue comme étant une composante active du système de traitement de l'information. C'est donc plus qu'un simple registre de transition de l'information. Selon Gredler (1992), la mémoire à court terme a une capacité de rétention réduite et peut contenir environ sept items. La durée de conservation d'une information est brève, elle est de l'ordre de 20 secondes. L'information peut y subsister plus longtemps si un effort de répétition est fourni. C'est pour cette raison qu'il est nécessaire d'accorder suffisamment de temps aux apprenants pour qu'ils répètent mentalement l'information. Vergnaud (1984), a bien identifié l'importance de la répétition dans la mémorisation des connaissances "le critère de la répétabilité est un critère exigeant" (p. 246), dit-il. Les éléments conservés dans la mémoire à court terme sont transmis à la mémoire à long terme d'où ils peuvent être à nouveau puisés aux fins de réutilisation.



La mémoire à long terme (MLT) est le réservoir des informations stockées. Elle accumule des connaissances, des habiletés et des événements. Plusieurs chercheurs pensent qu'il n'y a pas qu'une seule, mais différents types de mémoire à long terme (Dubé, 1990 ; Fortin et Rousseau, 1989).

Fortin et Rousseau, par exemple, distinguent la mémoire procédurale et la mémoire déclarative. La première concerne le savoir-faire. La mémoire déclarative comprend la mémoire sémantique et la mémoire épisodique. Celle-ci porte sur les faits et les événements observés ou vécus. La mémoire sémantique est reliée au langage et à l'organisation des schèmes et des concepts entre eux. Toute réalisation de tâche implique la mobilisation de la mémoire procédurale et de la mémoire déclarative. Pour Anderson, cité par Clément (1994, p. 31), le lien entre ces deux (2) mémoires (déclarative et procédurale) serait justement la mémoire de travail, c'est-à-dire la mémoire transitoire.

Cette analogie montre, entre autres, que le traitement de l'information se déroule dans une séquence où interviennent plusieurs unités à la fois : les récepteurs, les registres sensoriels, la mémoire à court terme, la mémoire à long terme et les générateurs de réponses. L'acte d'apprentissage correspond donc à une séquence d'événements. Bien que certains événements peuvent en précéder d'autres, cette séquence n'est pas pour autant invariable (Fortin et Rousseau, 1989).

Les activités prévues par le simulateur, sont du type de "découverte", selon le sens de Bruner et de Chadwick. Elles devraient dépendre largement du fonctionnement de la mémoire, surtout de la mémoire de travail. Comme la durée de conservation et la capacité de rétention des informations sont réduites au niveau de cette mémoire, nous devons optimiser l'activité cognitive en diminuant l'effort de rétention par l'utilisation d'une représentation imagée sur l'écran cathodique. Selon (Nonnon, 1986 ; p. 16), c'est sous cette forme que l'information est la plus facile à saisir et à manipuler par la pensée.

Par ailleurs, en se basant sur la théorie du traitement de l'information, Gagné et *al.* (1988), décrivent l'apprentissage et les processus qui lui sont associés en une séquence hiérarchique.

2.2.1.1. L'apprentissage hiérarchique selon GAGNÉ

L'empreinte de la théorie de l'information et du behaviorisme est nette dans l'approche de Gagné et *al.* (1988). Pour ceux-ci, la bonne question à poser est non pas "que désirez-vous que l'élève apprenne ?", mais "que désirez-vous qu'il soit capable de faire ?". Opérationnellement l'aptitude ou la capacité de l'apprenant doit se traduire par un comportement bien précis. L'apprentissage est programmable.

Gagné (1970) situe la résolution de problèmes (*problem-solving*) au sommet de la hiérarchie des capacités. Chaque niveau hiérarchiquement inférieur est considéré comme un pré-requis pour la maîtrise du suivant. La "base" conditionne le "sommet". Ainsi, tout apprentissage complexe, selon Gagné, doit débiter par une analyse des capacités à atteindre, décrites bien entendu sous forme de comportements observables. Ensuite, il est indispensable de vérifier les pré-requis de l'élève. Inutile pour l'enseignant de viser plus haut si les notions de base ne sont pas satisfaisantes. De nouveaux concepts ne peuvent être présentés tant et aussi longtemps que les notions précédentes ne sont pas maîtrisées. Giordan (1995b), pour sa part, nous fait savoir que "L'apprentissage de toutes les connaissances court le risque d'être compromis si cette condition n'est pas remplie" (p. 110). L'apprentissage hiérarchique de Gagné se caractérise par huit phases distinctes, indépendantes les unes des autres, que nous résumons ci-après :

- 1) phase de la motivation qui est une condition préalable à l'apprentissage. Elle permet de diriger l'action de l'élève vers un but déterminé. Pour soutenir cette phase, on doit éveiller l'intérêt de l'élève et piquer sa curiosité ;
- 2) phase d'appréhension qui correspond à la première étape du traitement de l'information. L'élève doit être attentif et percevoir les différents aspects de l'objet d'apprentissage ; autrement dit, il doit discriminer les caractéristiques des stimuli présentés. Pour faciliter cette étape, il faut attirer son attention sur les faits importants qui font l'objet d'apprentissage ;
- 3) phase d'acquisition, c'est l'étape où s'effectue un premier travail au niveau de la mémoire à court terme. Les données perçues sont traitées par celle-ci et acheminées vers la mémoire à long terme. Elles sont codifiées, regroupées et associées à des images ou à des concepts.

Pour intégrer les concepts nouveaux aux précédents, l'élève doit activer ses connaissances antérieures par des rappels. L'enseignant peut accroître l'apprentissage à l'aide de supports didactiques ;

4) phase de rétention, elle correspond à l'entrée des données dans la mémoire à long terme ;

5) phase de rappel : pour que l'apprentissage soit effectif, il doit donner lieu à une réponse. Le rappel des connaissances ainsi que des procédures apprises permet de vérifier s'il y a eu ou non apprentissage ;

6) phase de transfert qui consiste à appliquer les connaissances acquises dans des contextes nouveaux et différents ;

7) phase de performance, c'est la production d'une réponse qui permet de vérifier si l'apprentissage s'est produit ;

8) phase de la rétroaction qui permet à l'élève de savoir si, par sa performance, il a atteint l'objectif fixé. L'élève peut vérifier par lui-même s'il y a eu apprentissage ou non.

L'apprentissage hiérarchique de Gagné est à l'origine de l'enseignement programmé. Cet enseignement a influencé de nombreux pédagogues scientifiques parce qu'il paraissait être, à leurs yeux, le prolongement rigoureux du behaviorisme. Rappelons brièvement les principes de base de cet apprentissage.

- premier principe : apprentissage individuel, donc au rythme de l'élève ;
- deuxième principe : fragmentation de la difficulté, en ne donnant qu'un élément simple à la fois, quasi évident pour l'élève qui n'apprend plus rien d'autre avant d'avoir vérifié (sur le champ par une application) s'il a compris ou non. Des retours en arrière en fonction des blocages évitent à l'élève de perdre le fil du cours et d'être "noyé" ;
- troisième principe : lorsqu'il répond correctement, l'élève est récompensé par une note ou par le "droit" de progresser dans le programme d'enseignement.

Johsua et Dupin (1993), ont sévèrement critiqué l'approche de Gagné. Ils remettent en question la notion même de l'apprentissage hiérarchique qui, selon eux, n'envisage aucune action des niveaux supérieurs sur les niveaux inférieurs. Pour ces auteurs, le paradigme de Gagné ne tient pas compte des élaborations propres de l'apprenant, c'est comme si celui-ci n'a aucun pouvoir sur la restructuration de ses connaissances.

Malgré ce réquisitoire sévère à l'endroit de l'apprentissage hiérarchique, il n'en demeure pas moins que l'approche pédagogique de notre outil, pour simuler des laboratoires en génétique, devrait tenir compte de cette hiérarchie afin de permettre aux étudiants d'intégrer de façon cohérente les lois probabilistes de la génétique mendélienne. En effet, il serait insensé de présenter aux élèves les mécanismes de la transmission de deux caractères héréditaires (dihybridisme) avant même qu'ils ne comprennent comment se transmet un seul caractère héréditaire (monohybridisme).

En résumé, la conception de l'activité éducative comme processus qui se déroule à l'intérieur de la personne et vise l'épanouissement de toutes ses ressources est une conception qui s'impose de manière irréversible. Nous la retrouvons aussi bien dans les principes de Bruner, de Chadwick et de Gagné. Tout en affirmant que le noeud central de l'apprentissage réside dans un processus interne à la personne, on ne peut pas sous-estimer les ressources externes quelles soient humaines ou matérielles pour soutenir ce processus. Meirieu (1994), nous rappelle que "apprendre et penser par soi-même renvoient irréductiblement au courage d'une décision individuelle pour laquelle l'instrumentation didactique peut fournir des points d'appui" (p. 117). Notre philosophie s'inscrit dans l'optique de Meirieu et nous soulignons, à notre tour, qu'exalter l'individu et restreindre l'importance des ressources externes, c'est avouer ne rien comprendre à la nature de l'apprentissage. L'apprentissage est un processus qui exige toute l'aide possible. Pour le prouver il n'est besoin que d'évoquer les difficultés de l'autodidactisme.

Dans cette première partie de ce chapitre, nous avons vu l'influence considérable que la psychologie cognitive a exercée sur l'acte pédagogique. La gestaltthéorie a été un précurseur dans l'élaboration de cette approche. Elle a mis en évidence la nécessité de considérer l'*insight* dans la résolution de problème et son importance dans cette activité. Bruner, inspiré des travaux de Piaget a mis en évidence le rôle de l'apprentissage par la découverte. Le

modèle de Chadwick complète les principes de Bruner puisqu'il incorpore dans son approche les supports technologiques.

Pour mieux expliquer comment la mémoire recueille, traite et emmagasine les informations, divers modèles furent élaborés et proposés. L'approche de Gagné, inspirée des principes de la théorie du traitement de l'information, nous renseigne sur les étapes de l'apprentissage hiérarchique.

À travers nos lectures, la toile de fond relative à l'approche didactique que nous projetons d'incorporer à notre outil prend déjà forme. Elle se dessine particulièrement dans le sillon du constructivisme et elle peut être exprimée sous l'étiquette suivante : Constructivisme piagétien, apprentissage par la découverte de Bruner, soutien à l'apprentissage à l'aide de supports technologiques de Chadwick et, finalement, elle incorpore les principes de l'apprentissage hiérarchique selon Gagné. Nous avons opté pour cette étiquette sans toutefois prétendre qu'il s'agit là de la seule et unique conception valable permettant aux étudiants d'intégrer les lois probabilistes de la génétique de Mendel.

Après avoir présenté dans les pages précédentes les grandes lignes de l'orientation pédagogique de notre outil, on abordera, à ce niveau, des considérations didactiques plus spécifiques afin de mieux nuancer notre conception. Ces considérations introduisent l'utilisation de l'ordinateur comme support pédagogique.

2.2. Considérations d'ordre didactique

À ce stade de la réflexion, et afin de maintenir le fil directeur qui tisse notre pensée, il nous semble indispensable de rappeler que notre idée de départ est de concevoir et d'élaborer un simulateur interactif pour faciliter l'intégration des lois probabilistes de la génétique mendélienne.

L'idée de développer un environnement interactif assisté par ordinateur pour l'enseignement de la génétique est fondée sur les récents travaux en didactique des mathématiques et des sciences expérimentales qui s'accordent massivement sur l'aspect constructiviste de

l'acquisition des connaissances (Astolfi et Develay, 1989 ; Astolfi, 1994 ; Chevallard, 1985 ; Giordan et De Vecchi, 1987, 1994 ; Giordan, 1994 ; Giordan et *al.*, 1994b ; Giordan, 1995b ; Johsua et Dupin, 1989, 1993 ; Nonnon, 1986 ; Nonnon et Laurencelle, 1984). Bien que ces recherches présentent des divergences évidentes, quant aux problématiques qu'elles soulèvent et aux méthodologies qu'elles poursuivent, puisque les unes s'inspirent du courant piagétien et d'autres de l'approche du traitement de l'information, elles sont cependant quasi unanimes sur le fait que l'acte d'apprentissage ne se transmet pas. Pour ces travaux l'acquisition des connaissances ne peut s'opérer que moyennant la participation centrale et active de l'élève (Astolfi et Develay, 1989 ; Giordan et *al.*, 1994b ; Giordan, 1995b ; Nonnon, 1986).

D'autres travaux, font ressortir que les nouvelles technologies ont un impact positif sur l'acquisition des connaissances (Baveux, 1987 ; Beaufilet et *al.*, 1987 ; Blondel, 1984 ; Blondel et Schwob, 1985, 1996 ; Bordeleau, 1994 ; Jenkins, 1987 ; Milot, 1996 ; Nonnon, 1986). Ils ajoutent que l'emploi de l'ordinateur contribue de façon notable à mettre l'élève dans une position active et dynamique lui permettant ainsi de construire son propre savoir.

Les réflexions relatives à cette partie du cadre théorique ont été puisées à partir de différentes sources bibliographiques. Le lecteur ne devrait donc pas s'étonner s'il s'aperçoit que le texte se réfère à des auteurs qui s'intéressent à des domaines variés, tels que la didactique des sciences, l'approche structuraliste-constructiviste, l'apprentissage du type inductif et déductif.

Compte tenu que notre travail vise à développer un simulateur assisté par ordinateur, il serait alors convenable, tout d'abord, de faire une analyse des écrits qui se sont penchés sur la modélisation et la simulation par ordinateur. Notre but est d'identifier les divergences et les convergences qui existent entre les deux démarches empruntées par l'élève, en modélisation et en simulation. Ensuite, la discussion portera sur la façon de concevoir l'accès à la connaissance qui combine deux voies opposées mais complémentaires. Il s'agit de l'approche inductive et de la démarche déductive. Le modèle générique de Nonnon (1986) nous donne une explication éclairée des étapes propres à chacune de ces deux voies. Nous verrons leur implication sur le processus d'apprentissage, d'abord sans le support ordinateur et, ensuite, avec ce support. Voyons en premier lieu en quoi consiste la logique de la modélisation

2.2.1. Logique de la modélisation

La modélisation peut-elle contribuer à former l'esprit scientifique des élèves ? Comment favorise-t-elle le processus d'acquisition de la démarche scientifique ? L'ordinateur, comme support pédagogique, peut-il faire évoluer ce processus, voire même être le détonateur des premières phases de la démarche expérimentale ? Pour pouvoir répondre à toutes ces questions, il nous paraît utile d'analyser les travaux qui se sont intéressés à mieux identifier les étapes de la modélisation sans le support ordinateur, ensuite, de voir si ces travaux montrent des différences quelconque lorsque l'élève utilise l'ordinateur.

2.2.1.1. La modélisation sans le support ordinateur

Nous avons indiqué dans le chapitre précédent que les diverses contributions relatives à la modélisation citent souvent des auteurs qui ont centré leurs travaux sur l'étude des modèles pour définir le sens accordé à cette notion. Qu'est-ce au juste que la modélisation ?

Johsua et Dupin (1993) de même que Jenkins (1987) qualifient la modélisation comme un processus mental qui conduit à l'élaboration de lois. Ces auteurs précisent que le raisonnement inductif est à la base de ce processus. En plus, ils font une distinction entre la représentation et la modélisation. Pour eux, une représentation n'est qu'un pré-modèle et, par conséquent, elle est insuffisante pour pouvoir conduire à des changements durables et significatifs chez les élèves.

La modélisation, selon Martinand et Giordan (1987), permet l'appréhension et la compréhension de deux aspects de la réalité naturelle puisqu'elle facilite :

- la représentation du caché, en remplaçant les pré-représentations par des variables et des relations entre ces variables. Ainsi, elle conduit à des représentations plus relationnelles et hypothétiques.
- l'appréhension de la complexité par une manipulation adéquate des modèles formels. De ce fait, elle permet de décrire les variables en interaction, les relations entre ces variables et les contraintes en terme de valeur.

Ces deux auteurs distinguent deux niveaux différents d'analyse qui sont souvent confondus :

- le niveau phénoménologique, concernant l'étude des symboles, des objets et des phénomènes ainsi que les relations entre ceux-ci, c'est le niveau du référent empirique.
- le niveau des modèles construits sur ces référents, selon des exigences qui n'ont pas de solution au premier niveau.

Ils ajoutent, que si l'on se place au cœur du processus de la modélisation, et si l'on tient compte des activités du sujet en train de modéliser, on est amené à distinguer deux points de départ opposés mais complémentaires : un champ théorique d'une part et un champ empirique d'autre part. Le premier c'est le domaine de l'axiomatisation et le second c'est le domaine de l'expérimentation. Les deux champs génèrent, à leur tour, deux aspects complémentaires du modèle. Le modèle théorique qui découle d'une mise en équation d'un système et représente ainsi un caractère hypothétique à confirmer. Le modèle empirique qui résulte des données et conduisent ainsi au réajustement du modèle théorique initialement grossier.

Astolfi et Develay (1989, p. 96) ainsi que Johsua et Dupin (1993, p. 329), jugent que ce processus de la modélisation est conduit, dans un mouvement spiralé, par toute la communauté scientifique. La figure suivante (figure 2), illustre les différents éléments impliqués dans ce processus selon Walliser (1977).

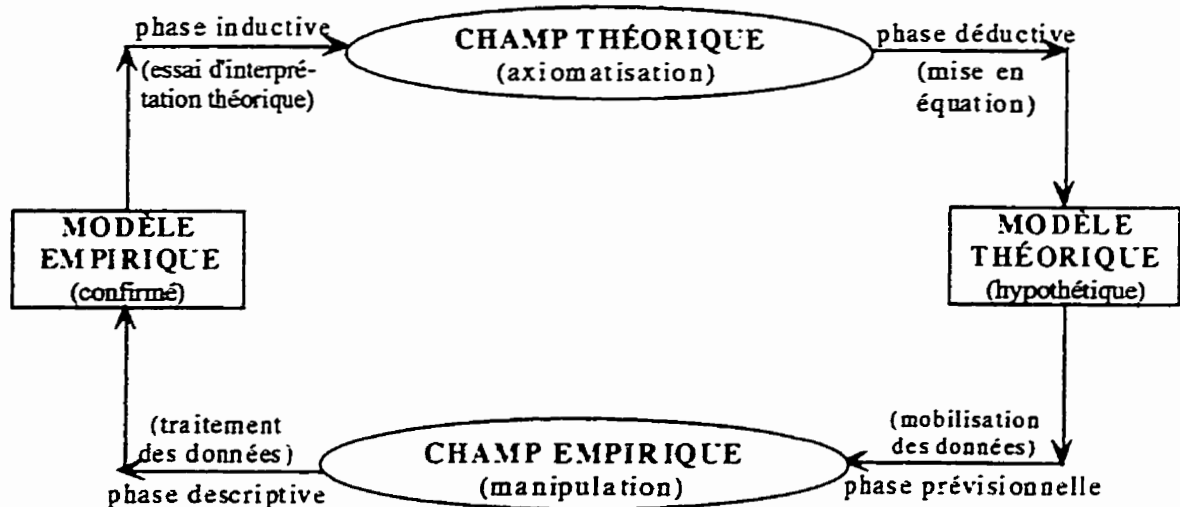


Figure 2 : Processus de la modélisation (d'après Walliser, 1977 ; p. 156)

De façon plus concrète, quels sont les processus qui sont déployés par l'élève lors de la démarche modélisante ? Pour rester dans le cadre qui est familier au professeur de biologie, prenons un exemple physiologique, celui de l'approche scientifique du phénomène de l'arc-réflexe.

Lorsque, par la méthode expérimentale un enseignant de biologie, tente de faire appréhender à ses élèves un réflexe médullaire (avec tous les moyens d'observation et d'expérimentation dont il dispose : moyens anatomiques, histologiques, cytologiques), il débouche sur le schéma classique de l'arc-réflexe, qui est une abstraction. Ce schéma, comme tout schéma, est un modèle ou une représentation d'un système réel. Il est représenté par un ensemble de symboles : une seule chaîne de neurones (remplaçant des milliers de chaînes plus ou moins parallèles), couleurs conventionnelles et légendes.

Tout schéma est donc une abstraction, un modèle d'un système réel. Comme la caricature il accentue ou révèle par le trait et par le choix de ses symboles, une partie ou certains aspects du système réel. Mais son élaboration a fait faire à celui qui l'a conçu une certaine gymnastique de l'esprit : un raisonnement inductif de type "observation-hypothèse-expérience". C'est une démarche synthétisante de l'esprit, puisqu'elle globalise un nombre plus ou moins important de données. Prenons maintenant conscience du nombre de démarches de ce type que les enseignants font réaliser à leurs élèves au cours de l'année. C'est évidemment la base de la démarche inductive. La formation de l'esprit scientifique par la méthode inductive est, en effet une des finalités éducatives dans l'enseignement scientifique. Prenons aussi conscience que la plupart des modèles élaborés par les élèves sont des "premières approximations", c'est-à-dire de simples relations de cause à effet, généralement visualisées par des diagrammes ou des schémas.

Le problème didactique, selon Johsua et Dupin (1993), réside surtout dans la difficulté à amener l'élève à percevoir et à concevoir le caractère relatif et arbitraire du modèle. Par ailleurs, certaines étapes de la modélisation n'apparaissent guère en situation didactique habituelle sans le support de l'ordinateur (Martinand et Giordan, 1987). Si des essais sont encore au stade exploratoire pour déterminer le rendement effectif de la modélisation par ordinateur dans l'acquisition d'habiletés liées au processus scientifique (Astolfi et Develay, 1989), d'autres travaux par contre plus avancés soulignent déjà la valeur formatrice de la

modélisation à l'aide de cet outil (Beaufils et *al.*, 1987 ; Blondel et Schwob, 1996 ; Desautels, 1995 ; Hervé, 1993 ; Nonnon, 1986 ; Richard-Molard, 1996). Pour ces auteurs, la modélisation est une approche constructive, proche de la réalité. Elle permet à l'élève de découvrir et d'énoncer des lois. Dans ce qui suit, voyons comment les écrits traduisent la démarche poursuivie par l'apprenant lors de la modélisation par ordinateur.

2.2.1.2. La modélisation avec le support ordinateur

De nombreux travaux (Astolfi et Develay, 1989 ; Fourez, 1992 ; Giordan, 1978, Giordan et *al.*, 1994a ; Nonnon, 1986), pour ne citer que ceux-là, sont unanimes et considèrent que le cheminement inductif est la voie privilégiée pour s'approprier un savoir structuré et significatif.

Pour expliquer les diverses phases liées à l'approche inductive, des modèles furent élaborés pour illustrer la succession des étapes impliquées dans cette démarche (Astolfi et Develay, 1989 ; Giordan, 1978 ; Giordan et De Vecchi, 1994 ; Nonnon, 1986). Même si les canevas généraux de ces modèles sont presque identiques d'une étude à l'autre, le modèle générique développé par Nonnon (1986) présente des atouts incontestables :

- il est cyclique par rapport à celui que nous propose Giordan (1978) qui est, quant à lui, linéaire. Ce qui implique que le modèle de Nonnon (1986) rencontre la réversibilité entre un raisonnement de type inductif et de type déductif ;
- le modèle de Nonnon (1986) est à la fois exhaustif et simple et, par conséquent, il répond aux caractéristiques d'un modèle formel tel que défini par Caverni (1988). Il est constitué de huit (8) étapes, alors que celui de Giordan (1978) n'est composé que de six (6) phases intitulées O.H.E.R.I.C : observation ; hypothèse ; expérimentation ; résultat ; interprétation et conclusion ;
- enfin, le modèle de Nonnon s'inscrit dans le cadre d'une série de travaux qui développent des systèmes-laboratoires contrôlés par ordinateur. Ces outils travaillent à la fois en mode conversationnel, en contrôle de procédés et en mode graphique (Nonnon et Laurencelle, 1984).

Les phases de la démarche inductive, d'après Nonnon (1986, p. 29), se résument selon la figure suivante (figure 3).

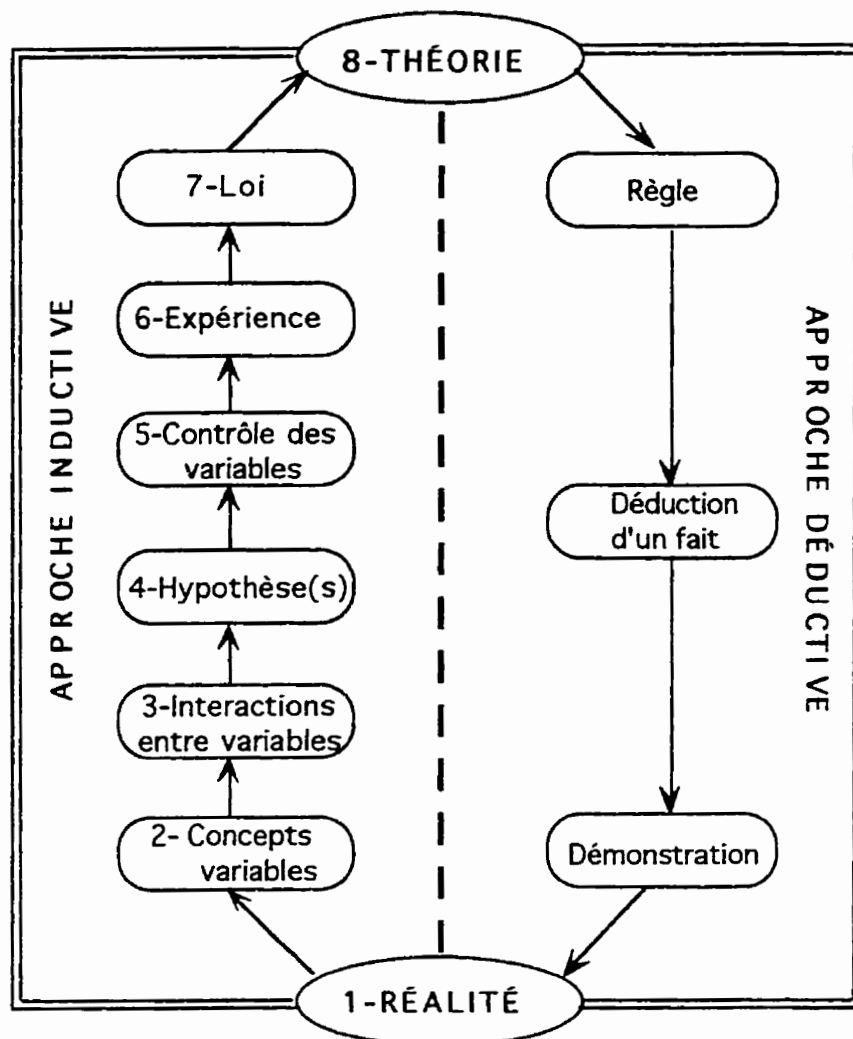


Figure 3 : Modèle générique d'enseignement des sciences (d'après Nonnon, 1986 : p. 29)

Pour favoriser chez l'élève l'acquisition de la démarche inductive avec le support ordinateur, Nonnon (1986) a développé un nouveau paradigme didactique, celui de la "Lunette cognitive". Ce concept, illustré par la (figure 4) de la page subséquente, permet à l'élève de jumeler simultanément l'observation réelle du phénomène et sa représentation graphique. L'association concomitante des représentations concrète et abstraite se déroulent devant les yeux de l'élève. Le principe de la "Lunette cognitive" est soutenu par l'utilisation de deux systèmes symboliques : l'équation algébrique et la représentation graphique ; deux

outils cognitifs qui permettent à l'élève de décrypter la causalité des variables mis en jeu de façon rapide et efficace.

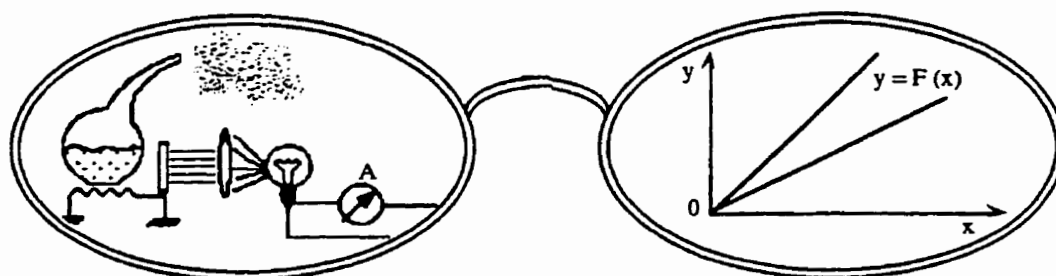


Figure 4 : Concept de la "Lunette cognitive" (d'après Nonnon, 1986 : p. 39)

Selon Nonnon (1986), au cours des différentes séquences de la démarche inductive, l'élève s'engage dans un processus de construction théorique en partant d'une pure exploration et d'élaboration de concepts. Le raisonnement qu'il entreprend l'incite à mener cette démarche synthétisante de l'esprit avec rigueur. Cette voie, le conduit à identifier des variables, à formuler des hypothèses en tenant compte des différentes combinaisons des variables mises en jeu. Cette étape introduit l'élève dans une seconde phase, celle où il doit prédire le résultat de l'interaction des différentes variables et de définir les conditions expérimentales nécessaires pour l'acheminer vers sa prédiction. Au terme de son raisonnement, l'élève construit des relations formelles entre les différents paramètres manipulés lors des expériences dans le laboratoire.

Astolfi et Develay (1989, p. 96) soulignent que l'utilisation pédagogique des ordinateurs oblige l'apprenant à employer la démarche inductive avec efficacité et à la mener jusqu'au bout, ce qui incontestablement enrichit son acte d'apprentissage. Pour ces deux auteurs, la modélisation par ordinateur incite l'élève à :

- formaliser sa pensée avec une grande rigueur scientifique; autrement dit, à construire un modèle représentant le phénomène étudié ;
- expliquer à fond les hypothèses de travail ;
- critiquer scrupuleusement le modèle et identifier ses limites avant même de vérifier son adéquation ;

- comparer le modèle aux faits réels et à l'améliorer par la suggestion d'autres hypothèses à vérifier.

Donc, par le jeu de l'observation, de l'hypothèse, de l'expérimentation et de l'interprétation, la démarche inductive permet de convertir la perception du phénomène à sa représentation réelle. L'élève, à travers cette approche, cherche à mettre en jeu des relations de cause à effet entre les facteurs et essaie de quantifier ces relations en élaborant de nouveaux concepts hiérarchisés. L'utilisation de la modélisation par ordinateur rend cette démarche assez aisée et plus probable. En citant les travaux de Nonnon, Meynard (1984)⁴ écrit à ce titre :

"Comme appariteur-robot, Pierre Nonnon, vous le montrera, il fournit tout pour les expériences; contrôle les processus ; fait des calculs et les statistiques ; guide le cheminement ; aide à formuler des théories et des lois; sert à tester les nouveaux modèles en se passant presque de la réalité. Il développe ainsi un véritable esprit de recherche. Il invite à faire des hypothèses et des erreurs, mais aussi à les réparer ; à tester en tenant compte des contraintes de la réalité ; à inférer ; à avancer méthodologiquement en contrôlant la démarche du raisonnement ; à décomposer un système en sous-systèmes et les problèmes complexes en problèmes simples (...). Il développe ainsi l'autonomie intellectuelle, mais surtout demande l'identification et le respect de la relation de cause à effet en distinguant les divers niveaux de probabilité. Ne s'agit-il pas là de grandes qualités scientifiques indéniables ? " (p : 8 et 9).

Suite à ces réalités, le recours à la démarche modélisante, pour pouvoir traiter un certain nombre de problèmes scientifiques, constitue sans aucun doute l'apport pédagogique le plus important pour le développement et la consolidation du raisonnement inductif. L'induction est une démarche généralisante, abstractive et formalisante. Elle demeure cependant le propre de l'homme, car elle mène aux concepts, aux lois et aux théories. Ce qui nous amène à se demander en quoi cette démarche se différencie-t-elle de celle entreprise par l'élève lors de la simulation ?

⁴ - Francis Meynard est conseiller au M.E.Q pour les applications pédagogiques de l'ordinateur (voir le texte intégral de la conférence d'ouverture dans le cadre du 18^{ème} congrès de L'A.P.S.Q. dans Spectre, mai 1984, pages : 8 à 10.

2.2.2. Logique de la simulation

Bien que nous ayons défini le concept de simulation dans le premier chapitre, rappelons que, dans le contexte de la présente étude, le terme de "simulation" fait référence à l'interaction entre l'apprenant et le matériel didactique servant de support à la représentation du phénomène. Suite à ce rappel bref, mais indispensable, voyons en quoi consiste la logique de la simulation, d'abord sans le support ordinateur et, ensuite, avec ce support.

2.2.2.1. Logique de la simulation sans le support ordinateur

Selon Hebenstreit (1980, p. 12), lorsqu'un individu est placé dans une situation où il doit prendre une décision, il construit mentalement un certain nombre d'actions, en faisant appel à la représentation qu'il possède de la situation et procède ainsi à des simulations, c'est-à-dire, il cherche à imaginer les conséquences des diverses actions possibles. Ces simulations achevées, le sujet exécute, parmi les différentes actions possibles, celles dont les conséquences lui paraissent les plus favorables quant au but qu'il s'est fixé. Toujours selon Hebenstreit (1980), il arrive que l'action entreprise par l'individu génère un résultat plus ou moins différent de celui qui est attendu. Deux faits peuvent expliquer cet écart : soit que le modèle que possède l'individu du phénomène est plus ou moins grossier, autrement dit ne traduit pas la réalité ; soit encore qu'une erreur s'est glissée dans le processus de la simulation, à savoir dans la suite des raisonnements utilisés, appliqués au modèle pour en déduire les conséquences de l'action. Dans les deux cas, l'écart entre les prévisions et la réalité le conduit généralement à corriger soit le modèle (la représentation qu'il a du phénomène simulé), soit son approche pour relancer une nouvelle simulation. Même si ce mécanisme recouvre implicitement l'expression commune selon laquelle "on s'instruit par ses erreurs", il est considéré par certains didacticiens, notamment par Johsua et Dupin (1993), comme étant une application de lois déjà connues. Pour ces auteurs, toute démarche, où l'esprit humain décompose un système pour en déceler les éléments constitutifs et les relations qui les unissent, en allant d'une proposition à une autre, est une démarche discursive séquentielle.

Donc, l'approche qui consiste à manipuler un modèle, c'est-à-dire le réel à travers sa représentation symbolique est une approche déductive. Contrairement à la modélisation qui elle est une approche inductive. Pour Jolivald (1995) et Hebenstreit (1980), la simulation sans ordinateur est le support d'un raisonnement analytique, puisqu'elle permet de déduire d'une loi l'application de cette loi à un cas particulier.

Jusqu'à une époque assez récente, seuls les modèles mathématiques étaient perçus comme de "vrais" modèles. Il ne venait pas à l'esprit des chercheurs de concevoir la "simulation" comme étant la recherche d'un ensemble d'équations qui constituent le modèle.

Sauf que la capacité de traitement des données par les nouvelles générations d'ordinateurs a largement contribué à donner un sens plus concret à la notion de modèle. En effet, il est maintenant possible de "mettre un modèle sur ordinateur" et la manipulation des variables du modèle à l'aide de cet outil devient, par définition, une simulation. La logique de la simulation à l'aide de l'ordinateur serait-elle identique ou différente de celle qui est conduite sans ce support technologique ?

2.2.2.2. Logique de la simulation avec l'ordinateur

L'ordinateur outil de traitement de l'information, c'est-à-dire des symboles, peut manipuler un modèle représentant le réel à travers sa représentation symbolique. Cette démarche, qui consiste à faire "vivre" un modèle plus ou moins complexe grâce au jeu simultané de toutes ses variables, est communément appelée simulation (Astolfi et Develay, 1989 ; Braunschweig, 1984 ; Jolivald, 1995 ; Leight , 1983 ; Pidd, 1984).

Les résultats fournis par une simulation ne doivent évidemment pas être confondus à la réalité, puisqu'ils sont obtenus par la mise en oeuvre approximative du réel. D'après Blondel (1984), Du Foyer (1988), Jenkins (1987), Jolivald (1995) et Loïsele (1987), l'étude du phénomène représenté par la simulation peut avoir deux objectifs scientifiques différents. Une à objectif méthodologique comportemental et l'autre à objectif prévisionnel.

a) Simulation à objectif méthodologique comportemental

Les résultats d'une telle simulation peuvent être comparés à la réalité et conduire à la modification du modèle. C'est ce que Depover (1987) a appelé la vérification de l'adéquation du modèle. En suggérant de nouvelles hypothèses de travail, la simulation comportementale relance, donc, une nouvelle phase inductive "c'est le serpent qui se mord la queue". Le modèle par approximations successives, sera de plus en plus réel, de plus en plus objectif et de plus en plus mathématique. D'après Blondel et Schwob (1985), une telle mise en oeuvre permet donc l'analyse du comportement du phénomène simulé. Elle donne une compréhension intégrée de celui-ci en cherchant l'importance respective des divers faits qui le constituent et aussi les différentes interactions entre ces faits. En d'autres termes, en agissant sur les variables du phénomène, on peut connaître leurs effets respectifs sur le fonctionnement global du système et, de là, hiérarchiser leurs importances (Depover, 1987 ; Du Foyer, 1988).

Dans les simulations dynamiques, où le facteur temps intervient, plusieurs variables évoluent simultanément et parallèlement. Ce qui est surprenant, selon Depover (1987) et Loïsele (1987), c'est le nombre très limité des didacticiels conçus pour des applications de ce genre de simulation. Pour ces auteurs, la conception de tels logiciels ne semble pourtant pas être très complexe puisque l'ordinateur peut accélérer, ralentir et décomposer un phénomène ou encore le faire exécuter dans un espace de temps plus restreint ou plus grand.

Pour rendre les propos sur la simulation comportementale plus concrets, revenons un instant au schéma de l'arc-réflexe médullaire chez une grenouille, exemple dont il a été déjà question plus haut. Pour arriver à la notion de réflexe, y a-t-il un quelconque intérêt formateur de présenter aux élèves le mécanisme d'un réflexe à partir d'une planche murale ou, ce qui revient au même, de le dessiner au tableau avec des craies de couleur et de le commenter ? Ceci serait une pédagogie de la "tête bien pleine". La notion d'arc-réflexe est un aboutissement de l'esprit et non un départ. Supprimer la phase modélisante dans un raisonnement scientifique équivaut à vider l'acte pédagogique de sa substance. Le moyen pédagogique le plus réel pour mener cette phase est, et restera, l'expérience faite par l'élève lui-même en laboratoire, en menant des expérimentations par l'excitation du nerf sciatique d'une grenouille. Les expériences réelles, qui servent de bases aux inférences, restent irremplaçables comme moyen de formation et d'approche aux phénomènes biologiques.

Si l'expérimentation ne peut pas être conduite au laboratoire, parce que la dimension temps constitue une contrainte pour mener l'exploration en peu de temps, on peut (mais à notre avis, c'est plutôt une tolérance pédagogique dictée par les circonstances expérimentales) utiliser une simulation modélisante. Les résultats des expériences simulées peuvent alors servir de support aux démarches inductives des élèves, c'est-à-dire être la base de cette inférence. C'est ce qu'on pourrait aussi appeler faire découvrir aux élèves le modèle sous-jacent de la simulation. Il faut cependant toute la prudence du concepteur et la perspicacité du pédagogue dans une telle mise en oeuvre d'une simulation, afin quelle ne tourne pas à une analyse élémentaire des relations entre variables, sans l'indispensable réflexion critique et logique de la démarche expérimentale. Le procédé visuel le plus courant pour construire une relation mathématique entre deux variables est la représentation graphique cartésienne. Celle-ci suffit amplement pour interpréter les résultats issus d'une simulation du phénomène de l'arc-réflexe. On peut, dans cette simulation, comme dans l'expérience réelle, étudier l'effet de la variation d'un excitant chimique (un acide par exemple) sur le temps de réaction du muscle effecteur. Comme aux plus grandes valeurs de x (la concentration de l'acide) correspondent les plus faibles valeurs de y (le temps de réaction du muscle) et aux plus petites valeurs de x , les plus grandes de y . Lorsque l'élève découvre qu'il y a dépendance entre ces deux variables, autrement dit lorsqu'il arrive à établir une relation de cause à effet et qu'il déduit de cette relation une fonction algébrique du type ($C = 1/T$), où C est la concentration de l'acide et T le temps de réaction du muscle, il découvre ainsi du phénomène simulé une relation algébrique. Cette relation cernerait de plus en plus la notion de réflexe dont l'aboutissement est la généralisation à tous les mécanismes nerveux de ce genre. Cette approche scientifique du mécanisme nerveux d'un réflexe médullaire permet de fixer un "cadre conceptuel de référence", facilitant l'accès à la compréhension d'autres mécanismes nerveux. C'est dans une telle optique qu'une simulation doit être utilisée en priorité. En dehors de ce cadre méthodologique la simulation par ordinateur ne peut plus garantir les finalités éducatives des sciences naturelles dans un système formateur. Constatons aussi que peu de logiciels d'enseignement actuellement disponibles contiennent explicitement cette intention dans l'utilisation des simulations modélisantes à des fins pédagogiques.

b) Simulation à objectif prévisionnel

C'est la manipulation d'un phénomène simulé dans une optique prédictive et décisionnelle. Cette simulation permet de tester des choix menant à des décisions (Depover,

1987 ; Jenkins, 1987 ; Jolival, 1995 ; Loïelle, 1987). Ainsi, différentes options d'un système donné peuvent être manipulées par ce type de simulation sans risques pour le système réel étudié. Ceci est évidemment d'une très grande importance, surtout lorsqu'il s'agit de prendre des décisions concernant des structures fragiles comme les systèmes vivants (Martinand et Giordan, 1987). En exploitant un modèle probabiliste, non déterministe, l'utilisateur permet à l'ordinateur de choisir aléatoirement, mais dans les limites du réel, la valeur de certaines variables ou des relations entre ces variables, en incluant la variabilité que l'on obtient normalement dans une expérimentation réelle lors de la manipulation de phénomènes biologiques. Les résultats ainsi obtenus, situés dans une fourchette assez réaliste et proches des données expérimentales, peuvent devenir le support d'une réflexion inductive.

Entre les mains de l'élève l'ordinateur peut devenir grâce à la simulation, un outil de travail fécond. Il peut devenir de la même manière, dans les mains d'un enseignant, un outil pédagogique remarquable. Pour Jenkins (1987), Jolival (1995), Loïelle (1987) et Pidd (1984), le mérite pédagogique de la simulation est d'être très motivante. Pour ces auteurs, elle met en jeu chez l'élève des mécanismes psychologiques basés sur la curiosité, comme le besoin d'expérimenter, qualité fondamentale de tout chercheur.

À la lumière de ce qui précède, il semble que la seule façon valable, dans l'optique d'un enseignement formateur en sciences d'attribuer des vertus pédagogiques à l'ordinateur, est de mettre l'élève en position de chercheur, face à l'outil. À condition que les didacticiels soient conçus dans ce sens. Ainsi, les divers formes du raisonnement scientifique des élèves seront, comme celles des chercheurs, développées et entraînées. Mieux encore, un élève travaillant avec des données recueillies par ses propres manipulations et soumises à ses observations, sera ce vrai chercheur utilisant un "outil-partenaire" pour acquérir un savoir scientifique bien structuré.

Adopter un autre point de vue serait en contradiction flagrante avec les finalités pédagogiques générales et spécifiques de l'enseignement des sciences. L'utilisation de la méthode expérimentale développe déjà, sans ordinateur, des attitudes scientifiques chez les élèves. Avec l'ordinateur, la méthode hypothético-déductive est encore plus que certaine (Desautels, 1995 ; Hervé, 1993 ; Hudon, 1994 ; Jenkins, 1987 ; Loïelle, 1987 ; Martinand et Giordan, 1987).

En somme, l'ordinateur n'a de valeur pédagogique que lorsque l'utilisateur emprunte l'une ou l'autre des deux voies : la modélisation et la simulation. Deux approches qui sont, selon les propos de Astolfi et Develay (1989), opposées et complémentaires à la fois.

Ainsi, lors de la modélisation la démarche entreprise par l'esprit fait associer successivement des propositions simples à d'autres plus élaborées pour conduire à des concepts ou trames conceptuelles plus complexes (Giordan et De Vecchi, 1987). Cette démarche est généralisante, abstraite et formalisante.

Contrairement à la modélisation, la simulation concourt à la formation de l'esprit analytique. Lors du raisonnement analytique, l'esprit humain décompose le phénomène, pour en déceler les éléments constitutifs et les liens qui les unissent. Cette démarche est séquentielle et discursive.

Au terme de ces réflexions, il est essentiel de faire un bilan des propos théoriques mais fondamentaux tenus dans les pages précédentes, en soulevant la question suivante: Quel pourrait être l'apport du paradigme de la "Lunette cognitive" de Nonnon (1986) à notre simulateur ? En d'autres mots, comment peut-on articuler la logique de la modélisation à l'approche pédagogique du simulateur ?

2.2.3. Approche pédagogique du simulateur interactif

Vu que le principe de la lunette cognitive de Nonnon (1986) inspire étroitement notre approche, il nous paraît essentiel de présenter les principales idées liées à ce paradigme qui nous ont été utiles pour élaborer notre stratégie :

- sur le plan pédagogique, l'activité de l'élève devra être centrée sur la résolution de problèmes et dépendra étroitement de son raisonnement inductif ;
- sur le plan cognitif, l'intégration du phénomène devra être facilitée grâce à la représentation simultanée du phénomène simulé à l'aide d'images (phénotype de la descendance) et de résultats statistiques générés par l'ordinateur, comme illustré par la figure de la page suivante (figure 5).

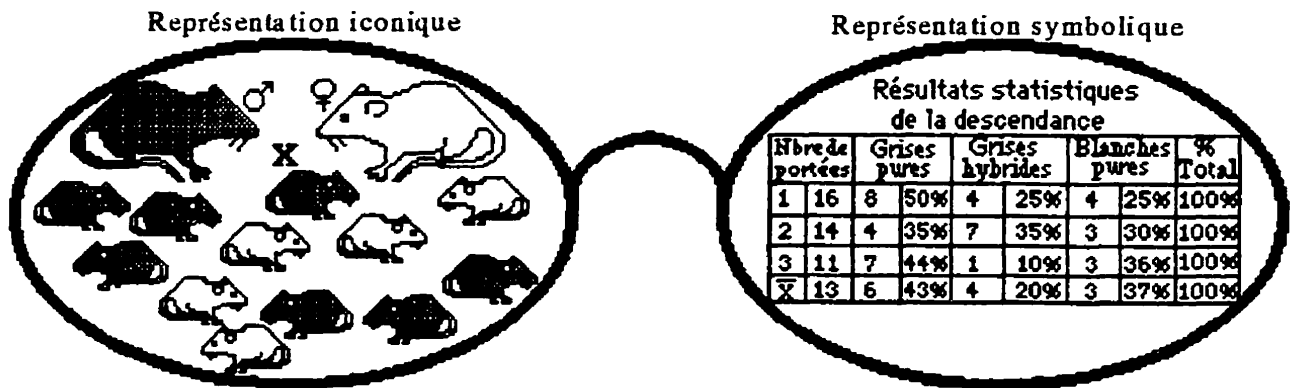


Figure 5 : Représentation simultanée du phénomène simulé et des données statistiques

- sur le plan du contrôle des variables, c'est l'élève qui choisira le(s) phénotype(s) des parents à croisés. Il changera un facteur à la fois, tout en gardant les autres constants. Nonnon (1986, p. 18) appelle ce procédé le schème de contrôle des variables.

Contrairement à l'outil de Nonnon (1986), où l'élève, en reproduisant les mêmes expériences, retrouve toujours, aux erreurs près, les mêmes résultats, notre simulateur placera l'étudiant devant la variabilité des facteurs qui caractérisent les lois probabilistes de Mendel. De sorte qu'il lui sera impossible de faire deux fois exactement la même observation ou d'obtenir deux fois le même résultat à partir de la même expérience. La grandeur d'une variable dans ces conditions doit émaner d'une série de mesures. Seules les méthodes statistiques sont capables de définir, avec un degré de certitude suffisant, les grandeurs de ces variables impliquées dans les phénomènes biologiques. L'ordinateur, avec ses immenses capacités de calcul et de stockage de l'information, est un excellent instrument pour résoudre ces problèmes issus de l'extrême variabilité des paramètres. Nous retrouvons ici le carrefour où la génétique et les probabilités, se rencontrent. Une prospective pédagogique peut-elle naître de cette conjoncture ? L'intérêt pédagogique d'une telle simulation probabiliste réside dans les faits suivants.

Elle génère aléatoirement des résultats expérimentaux. Cette variabilité peut faire l'objet d'une réflexion et déboucher sur l'émission d'hypothèses. Elle devrait donner aussi à l'élève la vraie modestie du chercheur qui doit avoir conscience des incertitudes de la Science.

Les résultats obtenus à partir d'une telle simulation peuvent être exploités par l'élève pour lui permettre :

- de dégager une loi (à partir d'un certain nombre d'expériences d'hybridation, et à partir des résultats probables de chaque croisement, l'élève sera amené à énoncer les lois de Mendel) ;
- d'appliquer ces lois à des situations problématiques (comme par exemple prédire les résultats des rencontres gamétiques lors d'une expérience de croisement et, par conséquent, définir les probabilités phénotypes de la descendance issue de ce croisement).

Dans le premier chapitre du présent travail, nous avons souligné que les statistiques et les probabilités sont des instruments mathématiques indispensables à l'intégration des lois probabilistes de la génétique de Mendel. Sauf que les statistiques dispensées dans certains cours, ne suffisent pas pour faire une réflexion fondamentale sur cette discipline, donc ne permettent pas aux étudiants de cerner la valeur éducative et la portée méthodologique des statistiques et, surtout, de faire un lien entre la génétique et les probabilités. L'originalité de notre outil est de rendre accessible cette méthodologie à l'élève.

Audet (1993) et Amiot (1990), précisent que deux grands courants de pensée scindent en deux le monde de la statistique et de ses écoles. Cela ne devrait pas nous surprendre puisque le raisonnement scientifique humain appréhende le réel selon deux démarches fondamentales : induction et déduction. La mise en œuvre d'une simulation probabiliste sur ordinateur pour les traitements statistiques copie "fatalement" ces deux démarches.

En biologie, on peut utiliser des traitements statistiques sur ordinateur à des fins formatrices de l'esprit. On peut appliquer aux données statistiques une modélisation visuelle à l'aide de tableaux de données, de diagramme en bâtons (pour les variables discontinues), d'histogramme ou un polygone des fréquences (pour les variables continues). Toutes ces possibilités sont autant de modèles visuels d'une série statistique, montrant les proportionnalités respectives de la variable pour les différentes valeurs ou les différentes classes de la variable. Un ordinateur peut évidemment tracer tout cela automatiquement, s'il est

programmé pour le faire. Il peut aussi éliminer les fluctuations pour ne retenir que l'évolution moyenne d'une série de données.

L'intérêt pédagogique des données statistiques générées par le simulateur, réside surtout dans le fait qu'elles permettent de provoquer chez l'étudiant une démarche scientifique. Ainsi conçues, les analyses statistiques seront le point de départ d'une réflexion investigatrice, centrée sur une démarche inductive. Bien entendu nous n'excluons pas du scénario l'apport de l'enseignant dans la relation "élève-ordinateur".

L'introduction d'une simulation interactive assistée par ordinateur dans la pratique de l'enseignant peut être, pour celui-ci aussi, une occasion de progrès. Ses conceptions épistémologiques peuvent entièrement être repensées à la lumière de la symbiose qui unit la biologie aux statistiques. Ses élèves seront, d'une façon ou d'une autre, les bénéficiaires directs des éclairages scientifiques nouveaux dus à cette évolution. Cette dernière réflexion souligne un aspect non négligeable de l'introduction de l'informatique dans l'enseignement. Dans la trilogie professeur-élève-ordinateur, l'enseignant n'est pas toujours celui que l'on croit. Il devient parfois apprenant. Jérôme (1979), nous livre, à l'aide des deux diagrammes suivants (figures 6 et 7), une vision dynamique qui traduit les propos formulés précédemment.

1) la figure ci-après (figure 6) montre l'élève en position de chercheur, sous tutelle pédagogique sans l'outil ordinateur.

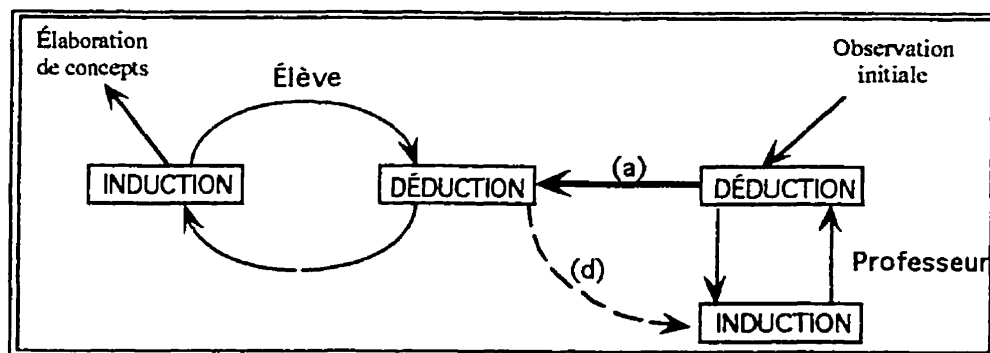


figure 6 : Élève sous tutelle pédagogique sans l'outil ordinateur (selon Jérôme, 1979 ; p. 691)

2) la figure suivante (figure 7) montre l'élève en position d'investigateur, sous tutelle pédagogique avec ordinateur.

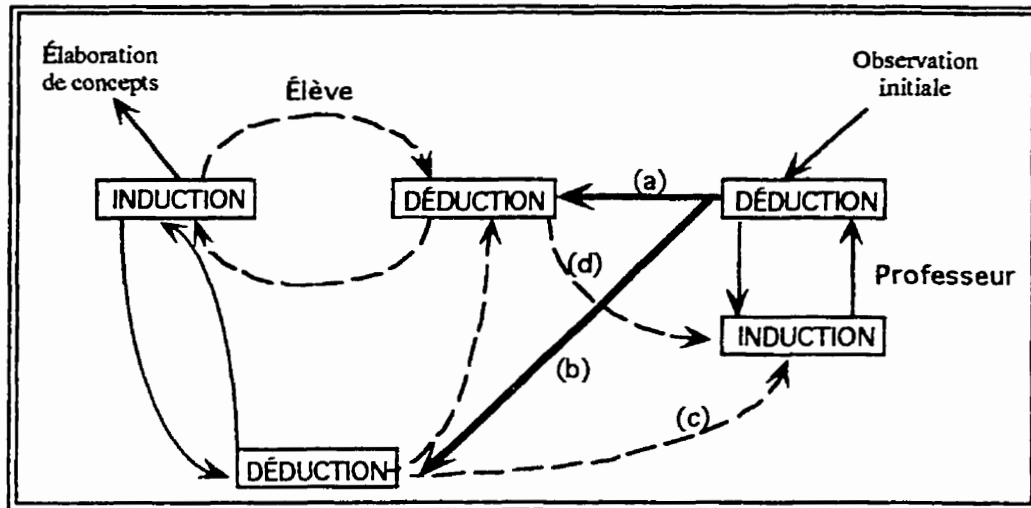


figure 7 : Élève sous tutelle pédagogique avec l'outil ordinateur (selon Jérôme, 1979 : p. 691)

•a) Dans les deux cas les mécanismes mentaux de l'élève sont amorcés par ceux du professeur (flèches a et b). L'enseignant joue en quelque sorte le rôle d'interface entre l'élève et les connaissances à élaborer par celui-ci. Tout se passe comme si l'enseignant prêtait à l'élève un peu de sa propre faculté d'analyse, soit directement (flèches a et b), soit par l'intermédiaire de l'ordinateur (flèche c, figure 7).

•b) Les relations (d) sur les deux diagrammes mettent en évidence la symbiose élève-professeur et celle de l'ordinateur avec le professeur. L'enseignant peut devenir dans certains cas l'enseigné.

Dans le cas du premier diagramme (figure 6), la tâche de l'enseignant ne se situe plus dans son discours ou dans ses démonstrations *a priori*. L'efficacité de son action est placée dans un contexte d'interactions avec les stratégies d'apprentissages de l'apprenant. Pour la deuxième situation (figure 7), en plus des interactions enseignant-élève, s'ajoutent celles de l'ordinateur pour susciter, amplifier et réguler les échanges et l'action de l'élève. Lorsque la relation pédagogique devient triangulaire (figure 7), les mécanismes mentaux de l'élève sont entraînés par l'ordinateur de la même manière que chez le chercheur. Tout se passe comme si les prodigieuses possibilités d'analyse de l'ordinateur entraînaient les mécanismes mentaux

de l'élève, les suppléant en partie, accélérant la formation des concepts et avivant son sens critique. Les interventions directes du professeur, peuvent être plus ou moins suppléées par une simulation modélisante. À la limite le didacticiel peut arriver à remplacer entièrement l'enseignant (ou presque), donc à faire effectuer à l'élève les raisonnements analytiques et synthétiques de la méthode hypothético-déductive. L'ordinateur devrait être considéré comme faisant partie intégrante des circuits mentaux de l'élève, comme dans le cas du chercheur, c'est un ordinateur-partenaire. On ne sait plus, dans ces boucles de rétroaction, où est la cause et où est l'effet. C'est, dans une certaine mesure, l'effet qui produit la cause.

Pour parler le langage des informaticiens on dirait que la manipulation dans ces conditions se fait avec une machine en temps réel ; l'information traitée est immédiatement réinjectée dans le circuit causal pour que son effet devienne instantanément cause. La machine confond dans le temps cause et effet ; mais dans notre simulateur interactif, vu de l'apprenant, la relation de cause à effet sera parfaitement réaliste.

À l'aide du simulateur, l'élève devrait être placé devant sa console en position de chercheur. Même si cette assertion n'est pas une conception nouvelle pour nous, elle a cependant évoluée dans notre esprit de manière à prendre une forme assez substantielle suite aux lectures effectuées pour rédiger le présent travail. Avec tant d'autres auteurs, nous partageons l'idée selon laquelle l'ordinateur doit être le support expérimental d'un raisonnement conduit selon la méthode hypothético-déductive. Cette utilisation faisant passer l'esprit de l'analyse à la synthèse et vice versa est, à notre avis, la plus valable puisqu'elle est la seule où l'élève, dans une ambiance motivante, peut avoir une activité créative, c'est-à-dire à participer de façon dynamique à son autoformation .

Autrement dit, nous voulons observer si l'approche proposée par le simulateur va permettre à l'élève de faire preuve des habiletés scientifiques suivantes :

- identifier les parents à croiser ayant chacun un ou plusieurs caractère(s) génétique(s) déterminé(s) ;
- isoler les paramètres en interaction : les caractères portés par les parents sélectionnés ;

- prédire les résultats du croisement en estimant les proportions phénotypiques probables de la génération qui sera issue du croisement choisi ;
- analyser les résultats statistiques générés par le simulateur, les confronter aux anticipations et suggérer de nouvelles hypothèses à vérifier ;
- développer un modèle impliquant une causalité probabiliste et induire les lois de Mendel qui gouvernent la transmission des caractères héréditaires à partir de ses observations ;
- appliquer ces lois dans la résolution de problèmes en génétique.

Tous ces objectifs sont centrés sur l'expérimentation proprement dite. L'activité cognitive des élèves consistera à réaliser des expériences simulées et à analyser les informations contenues dans les résultats observés. L'observation des faits, l'identification des variables, la recherche d'information complémentaire devraient intervenir au départ et pendant tout le déroulement de l'expérimentation. L'élève sera amené à énoncer des hypothèses, à interpréter les résultats et à tirer des conclusions. Nous rattachons au simulateur une unité qui incorpore des exercices et des problèmes pour permettre à l'apprenant de réinvestir les lois de Mendel dans des situations de résolution de problèmes.

Compte tenu que les activités que nous proposons, conjointement aux expériences simulées, seront sous forme d'exercices et de problèmes. Il nous semble essentiel d'analyser les travaux qui se sont intéressés au domaine de la résolution de problèmes et plus particulièrement ceux qui ont élaboré des modèles qui incorporent des procédures régulatrices assurant une solution optimale.

2.3. La résolution de problèmes

La plupart des recherches sur la résolution de problèmes s'inscrivent dans le cadre de la théorie du traitement de l'information. Ces études orientent leurs analyses sur les processus de la résolution du problème. De ce fait, elles ont contribué à une meilleure compréhension des difficultés qu'éprouvent les élèves lors de cette activité. Ces travaux ont permis de mieux définir cette activité, d'en préciser ses étapes et d'identifier les processus impliqués dans chacune de celles-ci.

Newell et Simon (1972) définissent la résolution de problèmes comme une suite d'opérations cognitives orientées vers un but. La résolution de problèmes est la recherche d'une séquence susceptible de transformer la situation initiale en une situation finale. Pour Nguyen-Xuan et Grumbach (1984), un problème se caractérise par un état initial, un état final ou but et un ensemble de transformations avec des contraintes d'application. Résoudre un problème consiste à chercher des opérations qui permettent le passage de l'état initial à l'état final (Cantin et *al.*, 1996 ; Léonard, 1988 ; Richard, 1989).

Ces définitions mettent en évidence trois propriétés essentielles qui caractérisent le concept "problème" : un état initial ou l'énoncé ; une série d'opérations pour transformer les données de l'énoncé et, enfin, l'état final ou la solution. Pour qu'il y ait résolution de problèmes il faut qu'il y ait élaboration, c'est-à-dire, construction progressive d'une procédure. L'apprentissage par résolution de problèmes se caractérise par le fait que l'élève ne doit pas connaître d'avance le cheminement le conduisant de l'état initial à l'état final (Cantin et *al.*, 1996). Ceci écarte l'acquisition d'une connaissance déclarative ou procédurale à partir d'un "mode d'emploi" qui décrit les séquences à suivre pour atteindre le but.

Une activité axée sur la résolution de problèmes comporte trois étapes principales. Deux d'entre elles ne font aucun doute et font partie de l'observable. Il s'agit de l'énoncé initial et de la réponse terminale (Cantin et *al.*, 1996 ; Gombert et Fayol, 1988 ; Richard, 1989). La troisième qui caractérise l'action du sujet qui mène au résultat peut aussi être attestée par la verbalisation (Bastien, 1987 ; Lapointe, 1989). Ainsi, lorsqu'un sujet est confronté à un problème il attribue une signification aux données de l'énoncé et ceci en fonction des contraintes propres à la situation, mais aussi en fonction de ses propres structures cognitives déclaratives et procédurales. En d'autres termes, il construit une représentation du problème. Qu'est-ce au juste que la représentation du problème ? Quel est son rôle ? Sa nature et ses caractéristiques ?

2.3.1. La notion de représentation dans la résolution de problèmes

La notion de représentation est sous-jacente aux travaux des gestaltistes notamment à Duncker. Celui-ci, cité par Lapointe (1989) et Richard (1984), serait le premier à mettre l'accent sur les phases de la restructuration du problème ; mais ce sont les travaux de Newell et Simon (1972) et Newell (1980) qui l'ont élaboré et lui ont accordé un statut particulier.

La représentation est un modèle interne (Le Plat, 1984). Pour Tiberghien, cité par Clément (1994, p. 17), la représentation fonctionne comme une mémoire. Richard (1989), quant à lui, il la définit comme un schéma ou comme une structure mentale. Certains travaux attribuent le terme "espace-problème" à la notion de représentation suggérée par Richard (1989). Selon cet auteur, la représentation est l'ensemble de faits liés par des relations. C'est un cadre général, en ce sens qu'il contient un certain nombre de variables ou places vides. Une résolution de problèmes revient, dans ce cas, à attribuer des valeurs spécifiques aux espaces vides pour combler les informations manquantes. La construction de la représentation du problème consiste à affecter aux espaces vides les données de l'énoncé du problème.

Si les travaux de Newell et Simon (1972), ont axé leur intérêt sur l'étude de la genèse de la représentation dans des situations de résolution de problèmes, d'autres travaux, relativement plus récents, ont davantage focalisé leurs investigations sur la microgénése de la représentation du problème dans un cadre strictement scolaire (Bastien, 1987 ; Cantin et al., 1996 ; Caverni, 1988 ; Richard, 1989 ; Saada-Robert, 1989). Ces études ont mieux réussi à cerner la façon dont l'élève parcourt les éléments qui lui sont soumis, les diverses relations qu'il est capable d'établir entre eux et les types d'actions qu'il effectue sur ces éléments.

Ainsi, la représentation est centrée sur les interprétations que le sujet se fait de la situation initiale, du but à atteindre et des moyens disponibles pour y parvenir. Selon Newell (1980), tous les éléments de la représentation définissent un espace de base potentiel. La recherche de la solution consiste à trouver dans cet espace une voie reliant l'état initial au but final en utilisant un certain nombre d'heuristiques et de recherches, comme, par exemple, l'analyse des conditions permettant d'atteindre le but, l'examen des actions possibles à partir de la situation présente et le choix des moyens qui réduiront la distance entre l'état initial et le but. Pour mieux clarifier ces propos, voyons le contenu de cet espace illustré d'un exemple tiré d'un exercice de génétique. Le contenu de l'énoncé renferme : (1) les éléments du problème (un mâle, une femelle, la première génération F1) ; (2) les attributs ou caractéristiques des éléments (les parents ont un caractère identique/différent ; la taille corporelle de la première génération est homogène/hétérogène) ; (3) les relations entre les éléments du problème (tous les descendants mâles du premier croisement portent le même caractère que celui des deux parents) ; (4) le but du problème (trouvez les phénotypes de la deuxième génération "F2" et expliquez la répartition phénotypique probable dans la

descendance) ; (5) les opérateurs pour effectuer les transformations (On possède une souche mutante de Drosophile dont les yeux ont une couleur jaune abricot [abr], alors que la souche pure, dite aussi sauvage, a des yeux rouges [abr+]). On réalise le croisement suivant : une femelle mutante [abr] x un mâle sauvage [abr+], on obtient en F1 50% de femelles uniquement sauvages [abr+] et 50% de mâles dont la moitié (25%) ont des yeux sauvages [abr+] et l'autre moitié (25%) ont des yeux jaune abricot [abr] ; ce croisement vous apporte-t-il des renseignements ? lesquels ?) ; (6) les conditions d'application des opérateurs (si le caractère n'apparaît ni dans la F1 ni dans la F2, l'élève doit supposer que le gène qui gouverne ce caractère est localisé non pas sur un chromosome autosomique, mais plutôt sur un chromosome sexuel, et donc (la réponse à la condition) un croisement inverse ou "back-cross" peut-il être utile pour vérifier cette supposition ?).

L'un des objectifs d'un enseignement centré sur la résolution de problèmes c'est de développer et d'enrichir chez les élèves des stratégies procédurales et déclaratives. Pour Anderson (1990), toute réalisation d'une tâche implique la mobilisation des connaissances déclaratives et procédurales, lesquelles sont présentes respectivement dans la mémoire déclarative et procédurale. Toujours selon Anderson (1990), le lien entre ces deux mémoires serait la mémoire de travail, dite aussi transitoire. À cet égard, on peut se demander, comment ces deux types de connaissances, déclaratives et procédurales, une fois acquises par l'élève, sont-elles réorganisées dans le but de bâtir d'autres stratégies de résolution de problèmes ?

Pour expliquer les procédures déployées par les humains pour construire un espace-problème, divers modèles furent proposés. Ils sont suggérés soit dans le cadre de travaux en intelligence artificielle soit par les recherches en simulation par ordinateur (Cavemi, 1988 ; Glaser, 1988). Le processus de résolution débute par la lecture de l'énoncé et prend fin lorsque le sujet trouve une suite d'opérations qui lui permettent d'entreprendre la solution.

2.3.2. Modèles illustrant la construction de la représentation du problème

Parmi ces modèles, il y a ceux qui intègrent des opérateurs dits régulateurs et qui interviennent dans le processus d'autocontrôle assurant ainsi une résolution optimale. Le modèle proposé par Gombert et Fayol (1988) est le plus cité dans les références de divers travaux (Saada-Robert, 1989 ; Vivier, 1988).

Nous avons choisi d'analyser ce modèle parce qu'il identifie les critères et les contraintes qui régissent le processus de hiérarchisation des différents tests d'adéquation nécessaires pour contrôler les étapes de la résolution du problème. La stratégie que suivra l'élève, lors de la résolution de problèmes, s'inspirera étroitement du modèle de Gombert et Fayol. Un autre intérêt de ce modèle réside dans l'identification des possibilités d'erreurs qui peuvent mener aux différentes solutions erronées. Il précise les divers tests impliqués dans l'autorégulation que doit déployer l'étudiant au moment de la résolution de problèmes.

2.3.3. Les possibilités d'erreurs lors de la résolution de problèmes

Selon Gombert et Fayol (1988), la résolution de problèmes en absence de toute instance d'autocontrôle des processus cognitifs, peut s'accompagner d'un certain nombre d'erreurs susceptibles de se solder par une réponse fautive. À partir du schéma minimal, illustré par la figure suivante (figure 8), ces auteurs distinguent trois (3) facteurs qui peuvent mener à une solution erronée : une représentation mentale inadéquate ; un mauvais choix des moyens (connaissances déclaratives et procédurales) ; utilisation inadaptée des moyens.

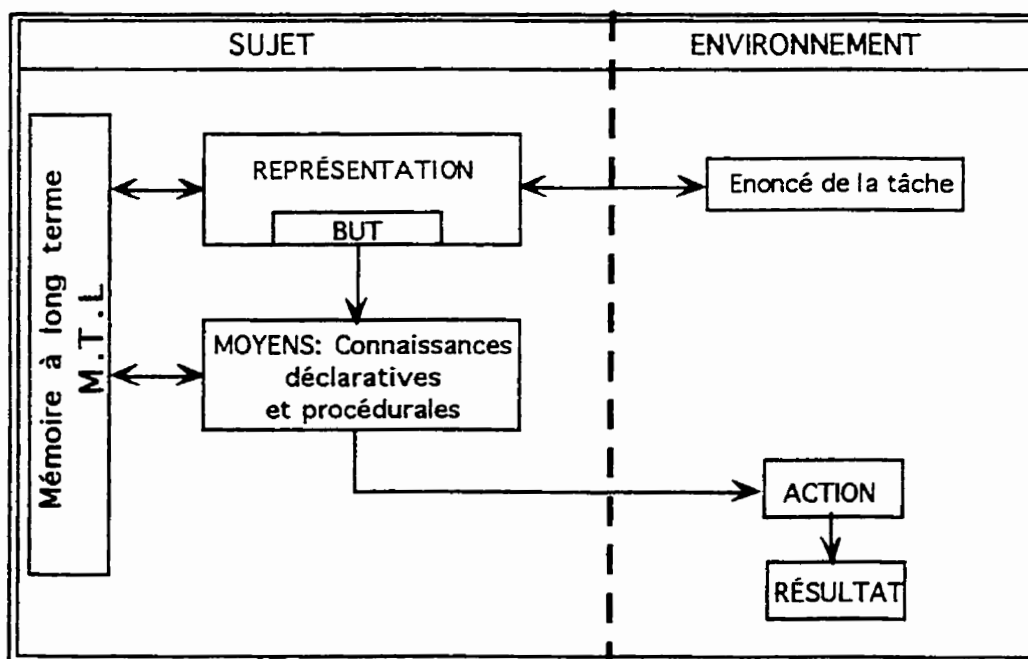


Figure 8 : Schéma minimum de la résolution de problèmes (d'après Gombert et Fayol, 1988 ; p. 48)

Ces auteurs soutiennent qu'un apprentissage systématique de la résolution de problèmes est susceptible d'amener les élèves à se doter de mécanismes autorégulateurs leur permettant la maîtrise de la résolution de problèmes. Ces mécanismes inciteront l'élève à utiliser des tests d'adéquation. Ils postulent que l'élève continuera la solution lorsqu'il s'apercevra que le test d'adéquation entre deux phases est positif. Un test négatif l'amènera soit à modifier la résolution soit à arrêter la tentative. Voyons dans ce qui suit les principales étapes du modèle proposé par Gombert et Fayol (1988, p. 50) et les sites des divers tests d'adéquation qui peuvent intervenir pour juguler le processus de la résolution de problèmes.

2.3.3.1. Adéquation au but

Un premier processus de comparaison intervient entre le but fixé par le sujet, suite à sa représentation du problème, et celui assigné par l'énoncé. Selon la figure suivante (figure 9), un test négatif amènera le sujet soit à modifier la représentation de la tâche en tenant compte d'autres éléments de l'énoncé, soit à déterminer un autre but, éventuellement décomposable en sous-buts. Selon Gombert et Fayol (1988), le non-recours à ce test se traduit par un décalage entre le but développé par le sujet et celui visé par l'énoncé.

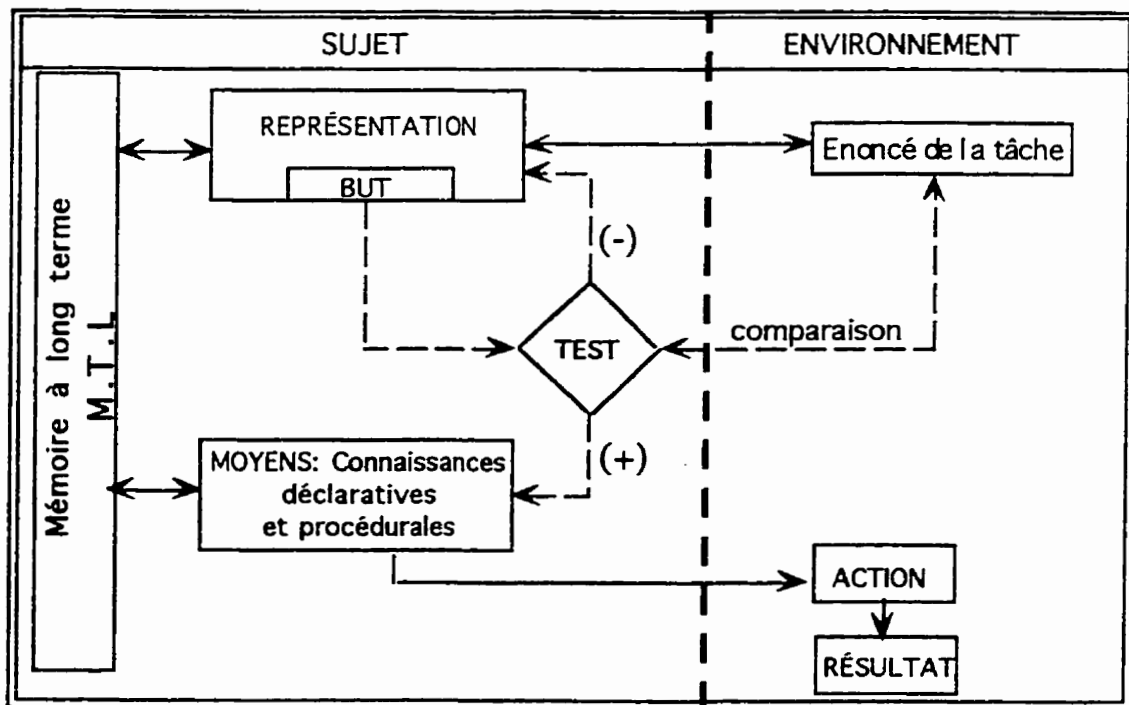


Figure 9 : Test d'adéquation du but (d'après Gombert et Fayol, 1988 ; p. 48)

2.3.3.2. Adéquation des moyens

Une seconde comparaison intervient au moment de la sélection des moyens au niveau de la mémoire à long terme. Pour Gombert et Fayol (1988), la mise en place d'un test comparateur à ce stade génère une anticipation de la part du sujet. Pour eux, le sujet simule les effets de l'utilisation des moyens sélectionnés. À quoi correspond cette simulation ?

Selon Escarabajal (1984), cette simulation est une action intériorisée par le sujet afin de tester les moyens choisis. Le test d'adéquation lié à cette étape est représenté par la figure suivante (figure 10). C'est la première tentative de la résolution. Elle peut se traduire par l'application d'une procédure déjà connue (analogie). Au terme de laquelle le sujet soumet sa tentative au test d'adéquation de la simulation.

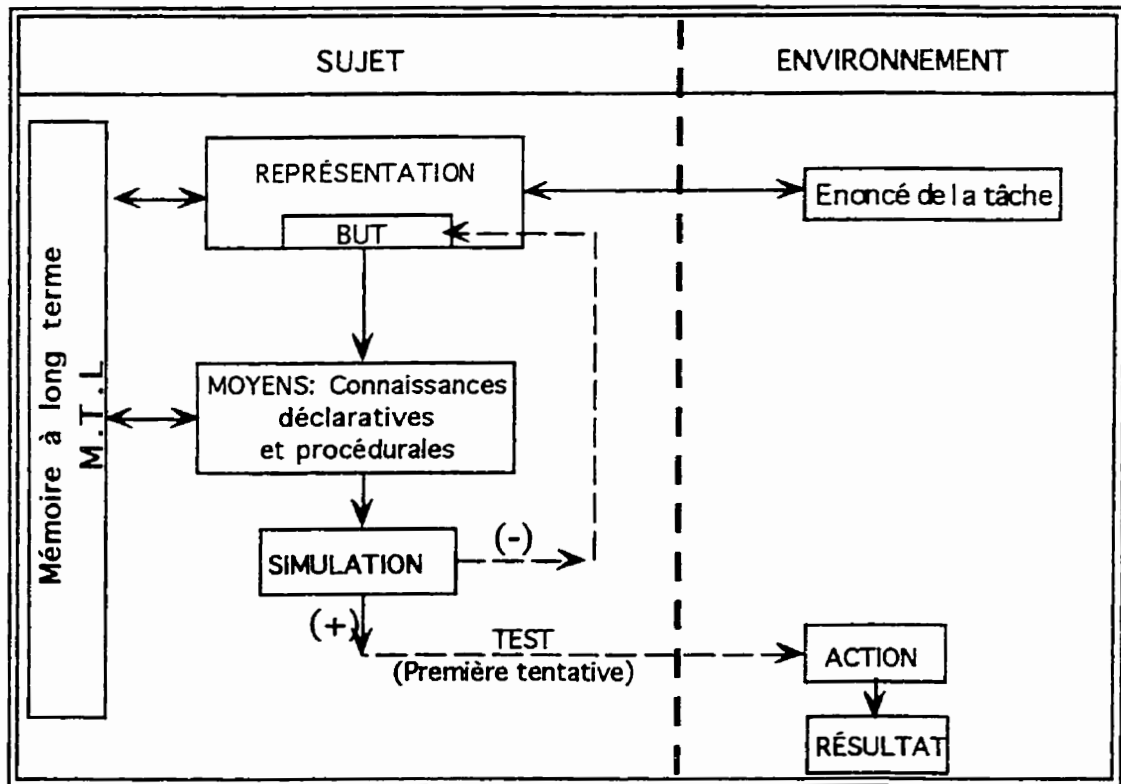


Figure 10 : La simulation dans la résolution du problème (d'après Gombert et Fayol, 1988 ; p. 50)

2.3.3.3. Test d'adéquation du résultat de la simulation

Si la simulation est infructueuse, le sujet modifie l'une ou l'autre des étapes précédentes (la représentation, la détermination du but ou le choix des moyens), jusqu'à ce qu'il obtienne le résultat escompté. S'il ne parvient pas au résultat, il peut soit s'en tenir à ce stade en déclarant, éventuellement, que le problème est impossible à résoudre, soit tenter d'autres actions pour dépister les possibilités d'erreurs qui se seraient glissées lors de la simulation (figure 11). Si le résultat est satisfaisant, il le soumettra au test d'adéquation du résultat final.

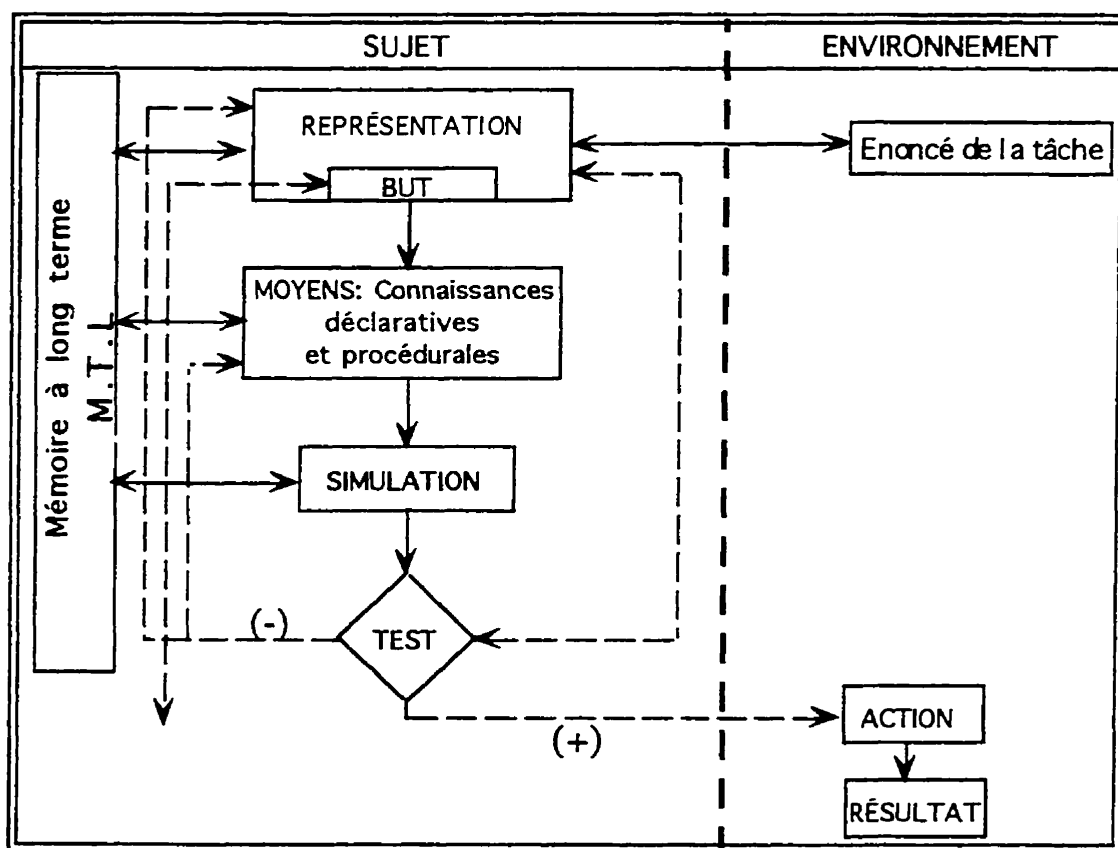


Figure 11 : Test d'adéquation du résultat de la simulation (d'après Gombert et Fayol, 1988 : p. 51)

2.3.3.4. Test d'adéquation au résultat final

Dans ce test, l'action du sujet peut être soit positive ou négative. Deux options sont possibles (figure 12). Soit que le sujet abandonne la recherche de la solution, soit qu'il tente d'autres modifications au niveau des étapes antérieures.

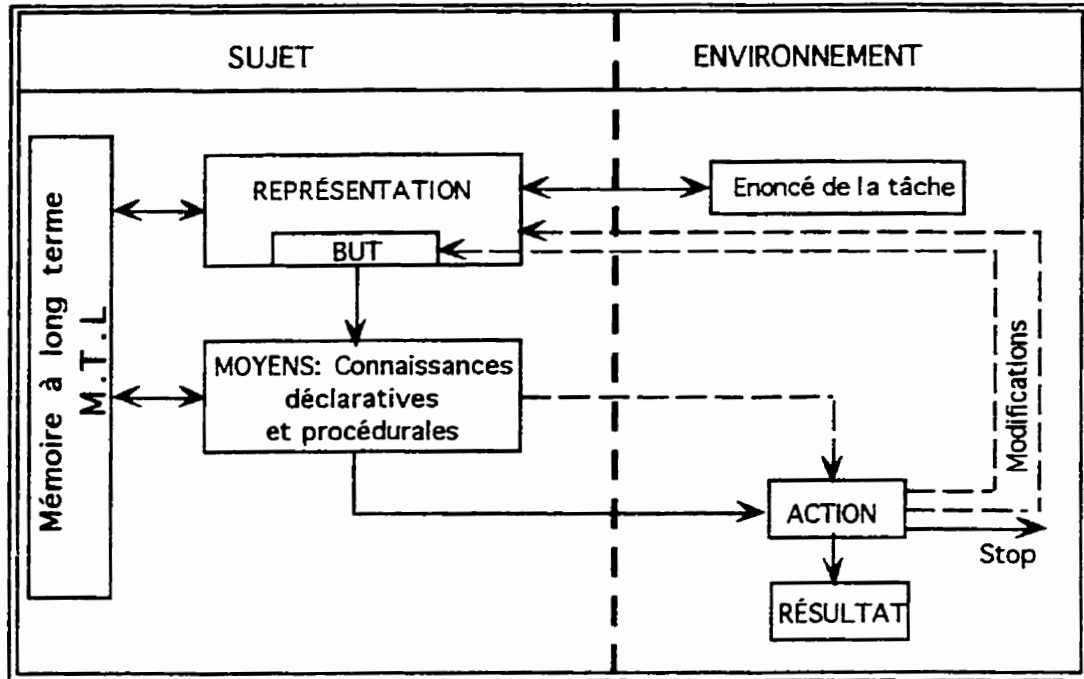


Figure 12 : Modifications éventuelles suite à un éloignement du résultat

(d'après Gombert et Fayol, 1988 ; p. 52)

Le dernier niveau du processus de comparaison correspond à celui du résultat final de l'action qui est illustré par la figure de la page suivante (figure 13). Pour Gombert et Fayol (1988), c'est à ce stade que le sujet effectue des observations sur ses propres actions et sur les résultats qu'il a obtenus. En fonction de cette mise au point, soit qu'il réajuste la procédure soit qu'il modifie sa représentation du problème.

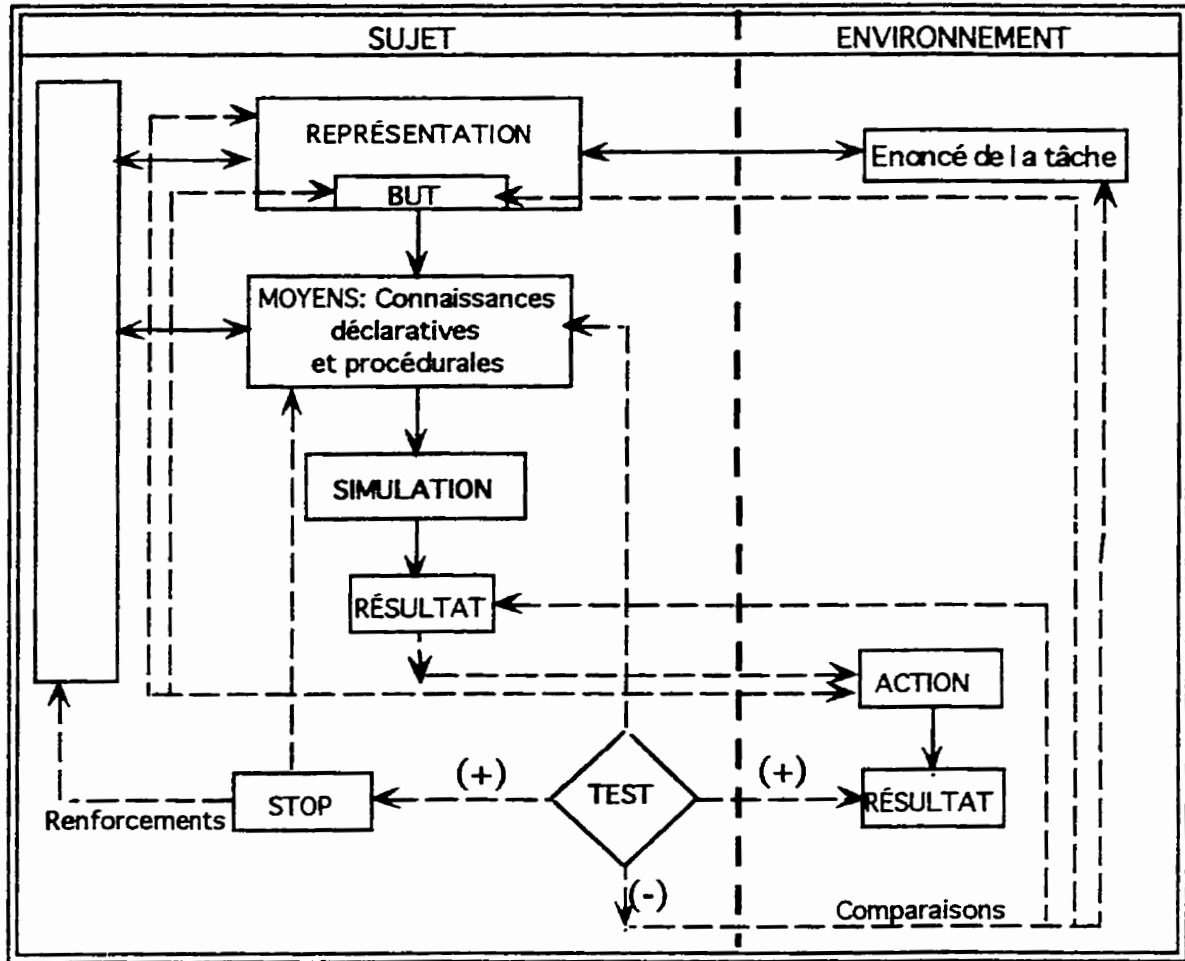


Figure 13 : Test d'adéquation du résultat terminal (selon Gombert et Fayol, 1988 ; p. 54)

Deux faits importants sont soulignés par Gombert et Fayol (1988) au sujet de la sous-utilisation ou de la sur-utilisation des comparateurs. Pour eux, une sous-utilisation des tests d'adéquations conduit souvent à des erreurs procédurales. En revanche, une sur-utilisation des comparateurs se traduit par des redondances et à une augmentation de la charge de travail de la mémoire, ce qui peut aussi conduire à l'abandon de la tentative de résolution. Pour ces auteurs, le recours à tous les tests d'adéquation (figure 13) n'est pas indispensable pour mener à la bonne résolution d'un problème. Ils proposent, à cet effet, une stratégie plus économique qui ne nécessite que trois (3) tests d'adéquation. Gombert et Fayol (1988) ont accordé à cette stratégie le terme de "stratégie optimale" illustrée par la (figure 14) de la page subséquente. Chaque test négatif suscitera la modification de l'étape immédiatement antérieure à celle testée.

2.3.3.5. La stratégie optimale

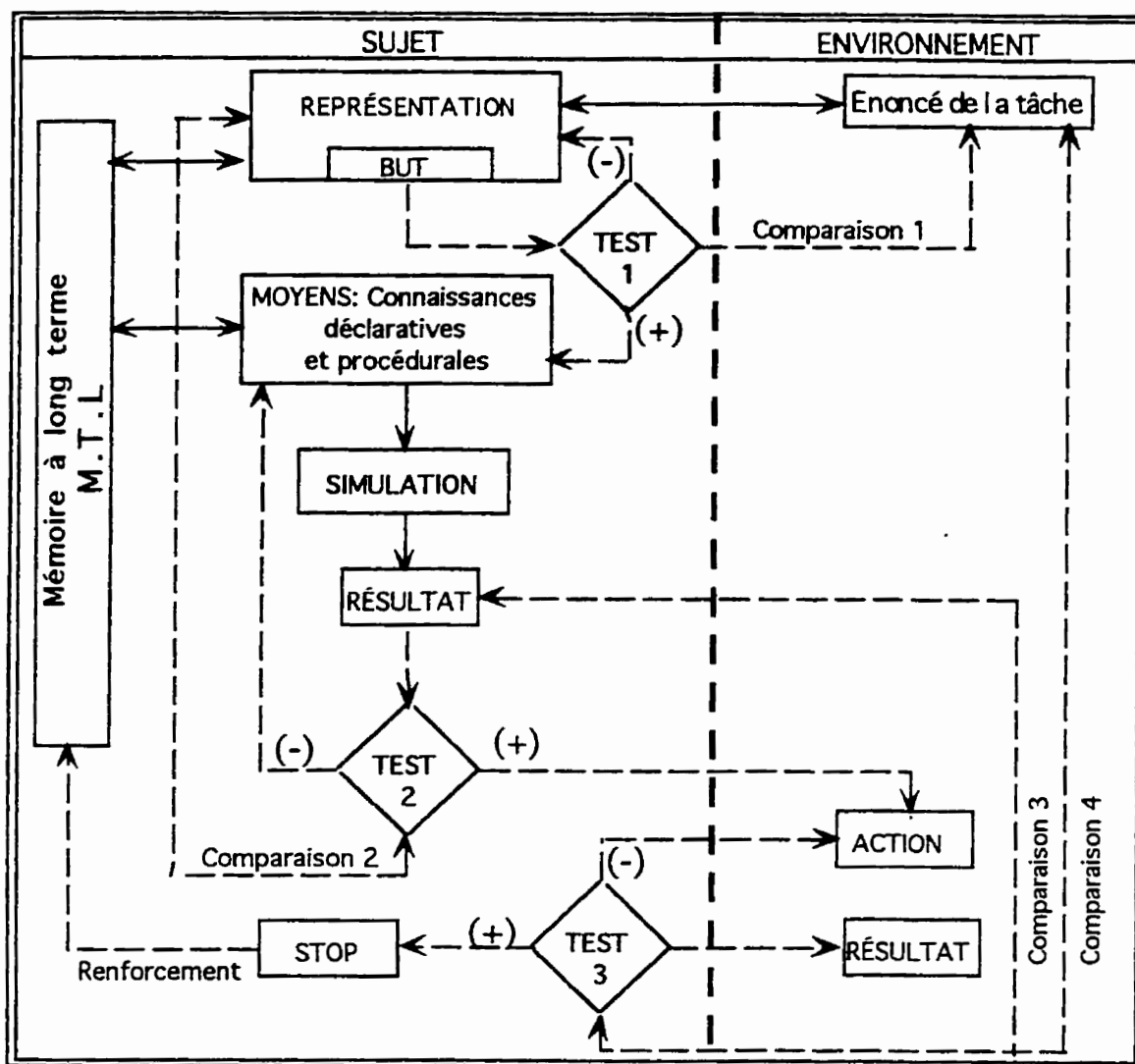


Figure 14 : La stratégie optimale (d'après Gombert et Fayol, 1988 ; p. 55)

Un premier test (Test. 1) se fait entre le but assigné par le sujet et celui de l'énoncé du problème. Les modifications éventuelles ne concernent que la représentation, puisque la révision de l'énoncé suppose la mise en place d'une nouvelle représentation. Un second test (Test. 2) porte sur la vérification du résultat anticipé, issu de la simulation en fonction du but déterminé par la représentation. Ici, les modifications ne concerneront que le choix des moyens. Enfin, un troisième test (Test. 3) compare le résultat

final à la simulation et permet, le cas échéant, des réajustements dans l'exécution de l'action. À ce même niveau, une autre comparaison se produit entre le résultat final et celui qui est initialement anticipé par le sujet.

Le travail de Gombert et Fayol se situe dans le cadre des pratiques qui étudient la façon dont l'enseignant peut développer et modifier les processus d'acquisition des connaissances chez les élèves (Lapointe, 1989 ; Richard, 1989 ; Vivier, 1988). De tels pratiques visent le développement de deux habiletés principales, à savoir l'aptitude à planifier et à contrôler l'exécution de la tâche.

Si de tels modèles intéressent les chercheurs, ils sont aussi au coeur des préoccupations des pédagogues qui souhaitent améliorer les stratégies de résolution de problèmes. La mise au point d'un enseignement basé sur la résolution de problèmes est une préoccupation majeure des didacticiens (Cantin et *al.*, 1996). La question centrale, à leurs yeux, est d'amener les élèves à construire une représentation du problème qui soit la plus efficace. Le modèle de Gombert et Fayol fut repris soit partiellement soit intégralement par d'autres travaux dans le but d'entrevoir les démarches susceptibles de conduire les élèves à des solutions appropriées (Lapointe, 1989 ; Saada-Robert, 1989 ; Vivier, 1988).

Même si l'approche de résolution de problèmes proposée par Gombert et Fayol (1988) semble, à première vue, être centrée sur le développement d'automatismes, elle nous paraît comme une piste potentiellement fertile pour doter l'élève de mécanismes régulateurs lors de la résolution de problèmes.

Comme ces auteurs nous suggèrent de ne pas sur-utiliser les tests d'adéquation afin de libérer la mémoire de travail des élèves, nous adopterons ce point de vue en équipant notre système d'une procédure qui se chargera d'indiquer à l'utilisateur l'endroit précis où il a commis ses erreurs afin de les corriger. De cette manière, l'ordinateur va stimuler à chaque fois la perspicacité de l'élève dans la mise au point de nouveaux tests régulateurs. À chaque erreur, l'élève sera appelé à relire les données de l'énoncé, à choisir de nouveaux moyens pour réorganiser sa tentative, à tenter de nouvelles actions et, finalement, à soumettre sa nouvelle tentative à de nouveaux tests d'adéquation.

Les éléments dont il a été question dans ce chapitre ont servi de points d'ancrage importants pour concevoir la démarche pédagogique de simulation.


Dans la première section, nous avons analysé les principales théories psychologiques. À travers cette analyse, nous avons identifié quelques principes découlant de certains modèles pédagogiques. Les modèles qui ont retenu notre attention sont : L'apprentissage par la découverte de Bruner, le modèle de développement des habiletés scientifiques à l'aide de supports technologiques de Chadwick et, finalement, le modèle d'apprentissage hiérarchique de Gagné.

Une seconde section, réservée essentiellement à des considérations spécifiques d'ordre didactique, nous a amené à examiner les processus cognitifs mis en oeuvre dans la logique de la modélisation et de la simulation avec et sans ordinateur. Le modèle générique de Nonnon, nous a donné une vision éclairée des étapes propres à chacune de ces deux logiques. Le paradigme de "La lunette cognitive" nous a été d'un grand secours pour transposer certains de ses principes au simulateur interactif.

Enfin, la troisième section a analysé quelques travaux qui se sont intéressés à la résolution de problèmes. Cette réflexion, nous a conduit à identifier le modèle de Gombert et Fayol qui propose des boucles régulatrices menant à une solution optimale. Ces boucles nous semblent une piste fertile parce qu'elles permettront à l'élève de réajuster ses tentatives de résolution de problèmes lorsque l'ordinateur lui indiquera ses erreurs.

Le chapitre subséquent, réservé au cadre méthodologique, examine quelques modèles de la recherche-développement. Il clarifie aussi les différentes étapes qui vont nous conduire à élaborer le simulateur à l'état de prototype, en articulant à celui-ci les considérations théoriques dont il a été question jusqu'à présent.

CHAPITRE 3
CADRE MÉTHODOLOGIQUE




Le choix d'une approche méthodologique de recherche ne peut être compris sans considérer le but visé par l'étude. Il convient de rappeler celui-ci brièvement. Il s'agit de concevoir, de développer et de mettre à l'essai un simulateur interactif permettant une approche inductive pour appréhender les lois probabilistes impliquées dans la génétique mendélienne.

Le chercheur en éducation est marqué par un ensemble d'idéologies issues de ses croyances, de ses connaissances et de ses expériences, ce qui l'amène, forcément, à faire des choix en privilégiant un type de recherche particulier par rapport à d'autres. Ces options forment généralement la toile de fond sur laquelle vont se greffer ses élaborations et ses orientations qui, peu à peu, vont le conduire à asseoir sa démarche sur des fondements solides. Il convient donc de formuler ces a priori afin de permettre au lecteur, de mieux situer le cadre de la recherche et le choix de l'approche méthodologique. C'est pourquoi, il nous paraît primordial, en premier lieu, de fixer les balises méthodologiques de la présente étude.

Barbier (1993), De Landsheere (1982), Legendre (1995), Pelletier et Demers (1994) ainsi que Van Der Maren (1995), dressent une nomenclature de la recherche en éducation. Au-delà de toutes les nuances du vocabulaire, qui varie selon que la recherche est exécutée spontanément ou à l'initiative d'un organisme, isolément ou en équipe, ces auteurs distinguent trois grandes familles de recherches en éducation :

- La recherche fondamentale "*Fundamental Research*". Elle tente d'aboutir à des connaissances récentes et à des changements d'investigation nouveaux. Dans ce type d'étude, le chercheur s'efforce de mieux saisir une matière, sans se soucier de ses applications pratiques et de ses retombées (De Landsheere, 1982, p. 31).

- La recherche appliquée "*Applied Research*". Elle vise l'application pratique des connaissances scientifiques. Son but lui confère d'apporter des remèdes appropriés, car elle est au service de l'humanité. Elle est évaluée en fonction de son rendement utilitaire. Ses recommandations visent à faire mieux, plus vite et à meilleur coût. Elle fait donc appel à la notion d'efficacité (Legendre, 1995).



- La recherche développement "*Development Research*". Comme son nom l'indique, elle a pour but de concevoir et de développer des outils, des méthodes ou de nouveaux procédés. Pour y parvenir, elle se base sur des connaissances scientifiques et des données variées. Pour Van Der Maren (1995), c'est surtout dans le domaine de la technologie de l'éducation et de la didactique que ce genre de recherche est le plus répandu.

Cette classification nous amène à situer le cadre méthodologique de la présente étude. En effet, c'est la troisième catégorie qui nous intéresse, puisque notre travail vise à concevoir et à développer un outil didactique assisté par ordinateur. Pour mettre en évidence un des buts fondamentaux de la recherche développement une question s'impose d'elle-même. Parmi la panoplie des modèles de développement existants, quel modèle allons-nous choisir pour assurer la concrétisation de notre entreprise ? Une telle interrogation porte en fait sur la sélection d'un modèle cohérent et satisfaisant qui devrait orienter notre démarche pour aménager les différentes étapes de la conception.

Afin d'opérer un choix judicieux, il semble essentiel, en premier lieu, de faire une brève synthèse des travaux qui se sont intéressés à décrire les modèles de développement d'outils didactiques. Dans une seconde étapes, nous exposons les diverses phases poursuivies pour réaliser notre simulateur interactif.

3.1. Les modèles de développement des outils didactiques

La Rocque et Stolovitch (1983) soulignent que les deux dernières décennies ont été marquées par la naissance sporadique de plusieurs modèles développementaux de systèmes instructifs, ou ce que d'autres auteurs, comme Gagné et *al.* (1988), appellent "*The Instructional Design Models*". Selon La Rocque et Stolovitch (1983, p. 44), ces modèles tentent d'être rationnels et systématiques. Cette volonté de systématisation vise essentiellement la mise en séquence d'une suite d'opérations pour produire des activités selon une logique graduée. Cette rationalisation des opérations, selon ces chercheurs, conduit généralement à résoudre des problèmes liés soit à l'acte pédagogique, soit à celui de l'apprentissage.

Le modèle de Van Der Maren (1995), présenté par la figure ci-après (figure 15), est un modèle théorique inspiré des recherches industrielles. Bien qu'il présente des étapes bien hiérarchisées, ce modèle est surtout destiné à des commandites vue qu'il favorise la phase de l'analyse de marché au détriment de la créativité et de l'innovation scientifique, comme si la recherche développement devait se limiter à la satisfaction des besoins.

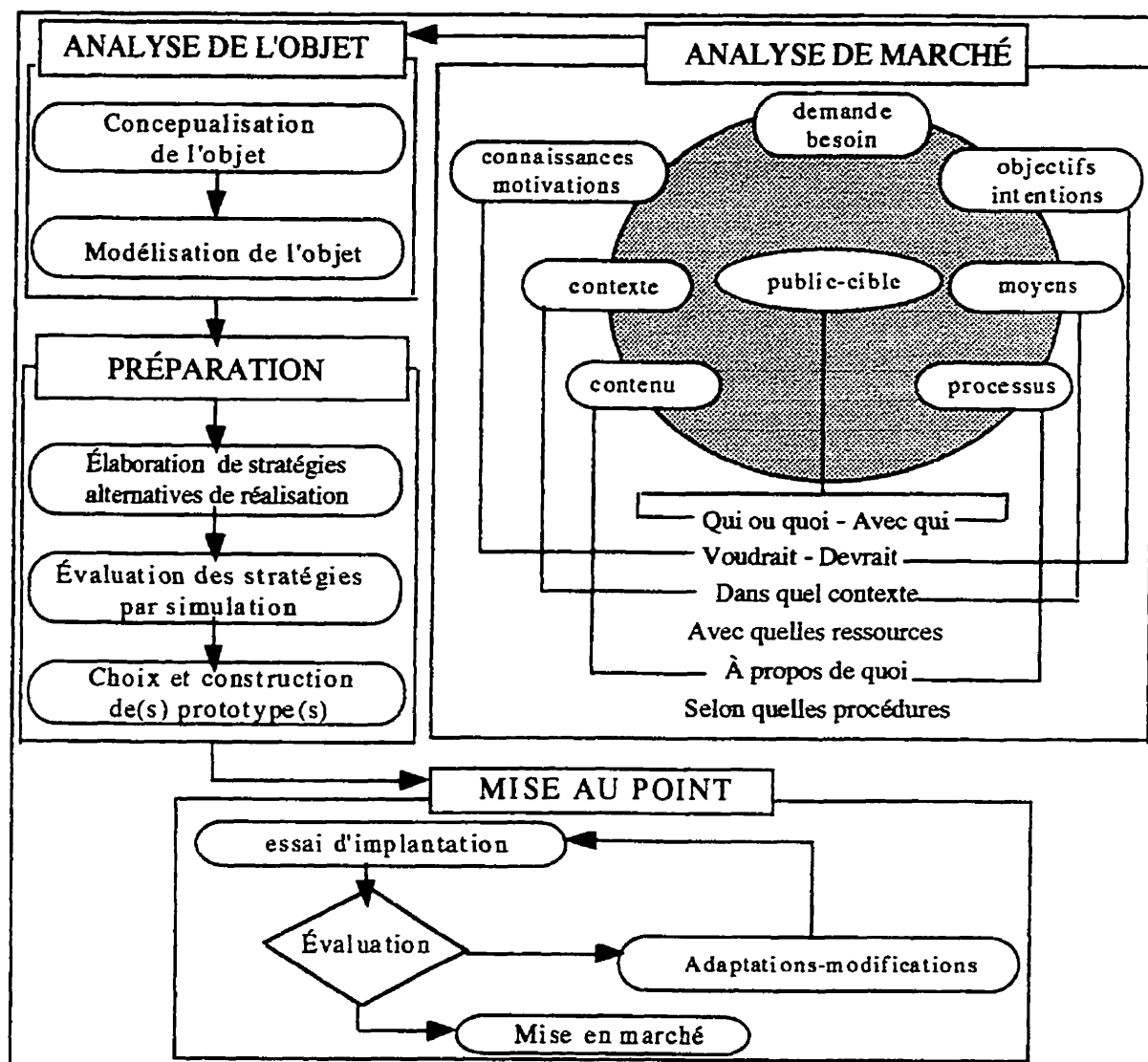


Figure 15 : Modèle de développement d'objets (selon Van Der Maren, 1995 : p. 180)

Nous avons aussi analysé le modèle de La Rocque et Stolovitch (1983). Illustré par la figure (figure 16) de la page suivante et intitulé "*Learner Verification and Revision*", ce modèle se caractérise par un système omniprésent de boucles régulatrices. Les travaux des

cybernéticiens ont mieux décrit les mécanismes de ces boucles régulatrices. Observables depuis l'être unicellulaire, jusqu'aux sociétés internationales, en passant par l'organe, les systèmes physiologiques, l'individu et le groupe. Ces boucles ont l'avantage de contrôler les divers facteurs qui régissent le fonctionnement d'un système. Le modèle de La Rocque et Stolovitch (1983) ne nous livre cependant qu'une partie des étapes du processus du développement puisqu'il part du prototype élaboré et néglige les phases liées à la conception. Ce qui laisse croire que ce modèle est amputé de certaines boucles régulatrices.

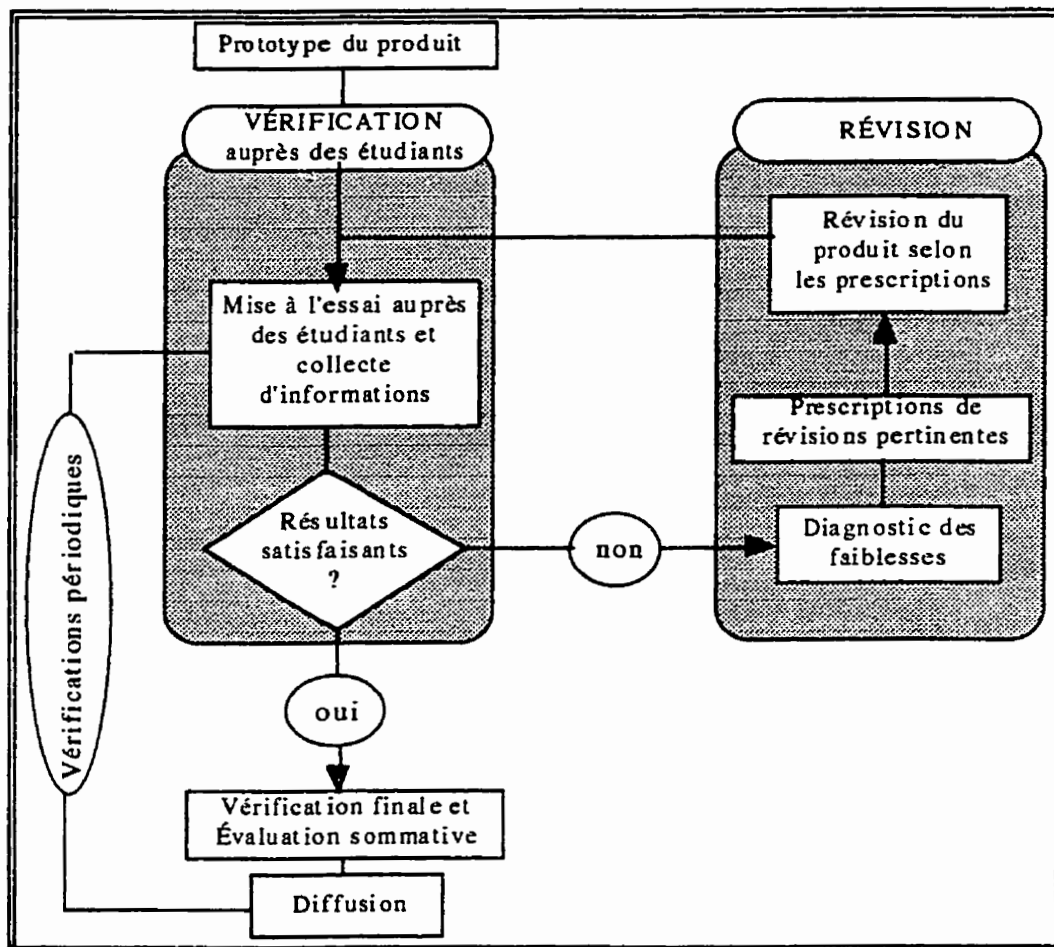


Figure 16 : Modèle "*Learner Verification and Revision*" (selon La Rocque et Stolovitch, 1983 ; p. 154)

Même si ces modèles nous renseignent sur certaines séquences à suivre pour concevoir et développer des outils pédagogiques, ils sont par contre conçus pour être appliqués à des champs beaucoup plus vastes que celui qui nous intéresse particulièrement ici. En outre, ces modèles de développement sont axés sur une conception basée

sur l'analyse des besoins sans références aux aspects théoriques. Ils ne donnent aucune indication sur l'opérationnalisation détaillée de notre idée et encore moins sur les phases reliées aux mises à l'essai des outils élaborés. De plus, les deux modèles analysés précédemment ne montrent pas comment ils font avancer les connaissances, ce qui est le but d'une thèse de doctorat. Par conséquent, ils nous livrent peu de pistes susceptibles de nous garantir un travail approprié. Aussi, nous avons centré notre démarche sur des modèles plus spécifiques qui ont eu un impact sur le développement d'outils didactiques assistés par ordinateur.

3.2. Modèles de développement d'outils didactiques assistés par ordinateur

La création d'un simulateur interactif relève, comme nous l'avons indiqué, de la recherche développement. À notre connaissance il n'existe pas un modèle standard pour la conception de tels outils didactiques. Sauf que pour répondre à des objectifs bien spécifiques, les concepteurs suivent une série d'étapes qui les conduisent de la phase initiale d'identification des caractéristiques générales du produit jusqu'à sa phase finale, dite fonctionnelle.

Contrairement aux modèles de la recherche expérimentale et de la recherche appliquée, le modèle d'une recherche développement ne s'inspire pas des données d'études théoriques, du moins dans ses premières étapes, mais s'appuie initialement sur une idée ou sur un problème concret à résoudre (Nonnon, 1987). Van Der Maren, cité par Legendre (1995, p. 1077), partage lui aussi cette même pensée et stipule qu'une recherche développement suit généralement le cheminement classique de la résolution de problèmes.

Barbier (1993), de son côté, nous précise que la recherche développement ne doit pas dépendre systématiquement des résultats des autres types de recherches afin de lui conserver son aspect "créatif". Cette indépendance n'est que provisoire et ne porte que sur le début de la démarche. Par ailleurs, Nonnon (1987, p. 4) nous fait remarquer qu'une recherche développement en éducation pourrait s'amorcer sur une idée simple ou sur un problème à résoudre, et elle se garderait alors libre de toutes considérations théoriques à l'étape de la conception, tout comme une recherche industrielle. Une fois que la phase conceptuelle est franchie, il serait téméraire d'ignorer encore des assises théoriques, notamment en ce qui

concerne les théories d'apprentissage. Toujours d'après Nonnon (1987), il faut imaginer un modèle de recherche de développement qui emprunterait à l'approche expérimentale les fondements théoriques et les modalités de contrôle applicables à son objet, sans pour autant, s'asservir au modèle expérimental et risquer ainsi d'enlever au modèle développement son aspect créatif et innovateur qui lui est propre.

À des modèles qui distinguent les divers types de recherche, nous avons choisi un modèle plus éclectique qui associe la démarche de développement et la recherche de connaissances, ce qui répond mieux à notre deuxième objectif qui est de produire une thèse de doctorat. Le modèle générique d'une recherche développement proposé par Nonnon (1987) répond bien à la réalité des exigences de conception et de création de ce genre de logiciel pédagogique. Nous optons pour ce modèle (figure 17) de la page suivante, parce qu'il a l'avantage de situer les différentes phases que nous aurons à franchir. Il précise aussi la démarche qui caractérise le type de recherche que nous effectuons. Par ailleurs, les travaux qui l'ont exploité, pour développer leurs outils didactiques, ont tiré un bénéfice incontestable (D'Amour, 1990 ; Desautels, 1995 ; Hervé, 1993 ; Hudon, 1994 ; Velasco Sanchez, 1989). Enfin, ce modèle a pour atout d'inverser le processus en partant d'une idée plutôt que d'une théorie ; de situer cette idée au niveau théorique avant de l'élaborer et d'en créer un modèle puis un prototype.

Selon le modèle de Nonnon (1987), la première approche réside dans un problème à résoudre (1), cette étape fut formulée dans la problématique du présent travail. Il convient toutefois de rappeler ici que notre idée de départ, essentiellement centrée sur une vision cognitiviste et basée sur une approche inductive du processus d'apprentissage, est de combler une lacune au niveau de l'enseignement de la biologie au secondaire, plus particulièrement dans l'enseignement de la génétique.

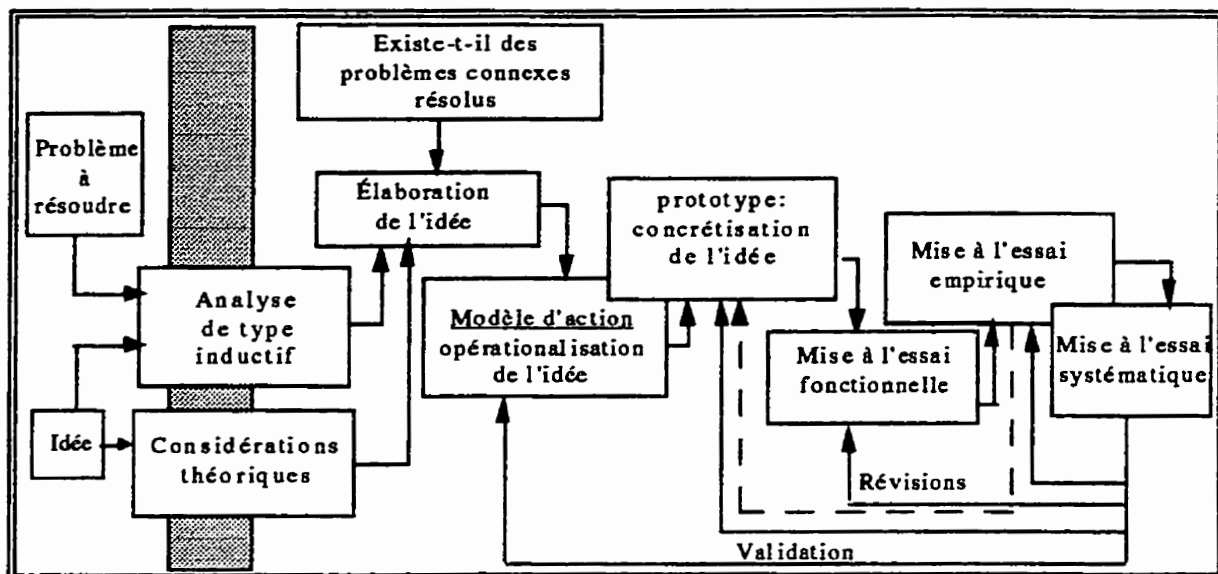


Figure 17 : Modèle de développement (selon Nonnon, 1987 : p. 5)

L'étape subséquente, selon ce modèle, est de confronter l'idée de départ à des considérations générales (2) : d'ordre pratiques, liées à l'analyse contextuel du milieu et à des considérations d'ordre théoriques pouvant appuyer, consolider, nuancer, enrichir l'idée initiale ou de la rejeter. Vient ensuite l'élaboration de l'idée (3), suivie de la conception d'un modèle d'action (4). Cette quatrième étape précise les conditions de réalisation en fonction des choix techniques et décisionnels que doit prendre le concepteur, ce qui rend l'idée plus opérationnelle et déboucherait sur la naissance d'un prototype (5). Enfin le modèle de développement se termine par diverses mises à l'essai. La première est la vérification fonctionnelle du prototype (6) en laboratoire. Cette phase permet, selon Nonnon (1987), de vérifier si le logiciel est opérationnel, facilement utilisable et, le cas échéant, l'améliorer. La deuxième vérification est la mise à l'essai empirique (7). Celle-ci consiste à observer les retombées pédagogiques suite à l'utilisation du prototype par un groupe d'élèves constituant le public-cible pour lequel l'outil a été créé. Cette mise à l'essai empirique s'avère indispensable afin de recueillir les données nécessaires auprès des utilisateurs et de faire un retour critique sur l'outil développé. Nous reviendrons en détails sur ces deux phases dans le chapitre cinq (5).

Enfin, la dernière étape est la mise à l'essai systématique (8). Nous notons ici que nous ne procéderons pas aux essais systématiques du logiciel. En fait, il serait prétentieux et même fastidieux d'envisager l'implantation d'un produit final et définitif dans le milieu

scolaire sans que chacune des étapes énumérées auparavant ne soient rigoureusement respectées. En outre, comme l'implantation de tout produit éducatif ne relève pas des compétences du concepteur mais plutôt des décideurs, il nous semble dans ce cas inutile d'accorder de l'importance à cette étape. Par ailleurs, notre étude ne vise pas à démontrer une supériorité quelconque du simulateur sur d'autres types d'environnement pédagogique, ni à comparer les mérites de l'ordinateur par rapport à d'autres médias d'enseignement. Elle postule, tout simplement, que la simulation par ordinateur possède des atouts spécifiques qui rendent pertinent, dans certaines mesures, le choix de ce type de support pour faciliter l'apprentissage de la génétique probabiliste mendélienne. Pour les fins de la présente recherche, nous considérons ces arguments, ces limites et ces contraintes comme étant aussi nécessaires que justifiés.

La stratégie de notre approche méthodologique étant fixée, nous précisons maintenant les orientations de notre travail en décrivant, une à une, les étapes de développement de la recherche conduisant à l'élaboration d'un simulateur interactif à l'état de prototype.

3.3. Développement du simulateur selon le modèle de Nonnon

Pour assurer la cohérence de notre projet, nous avons respecté la voie tracée par le modèle de Nonnon (1987). Il s'agit maintenant de préciser ces phases en les élaborant.

3.3.1. Problème à résoudre ou idée de départ

Pour résumer notre idée de départ, rappelons que les activités de laboratoire proposées par les enseignants aux élèves se réduisent souvent à un exercice superficiel qui consiste à leur faire appliquer, de façon linéaire, une série d'étapes expérimentales prédéterminées. Ces activités sont rarement organisées dans le sens d'une véritable démarche scientifique. Par conséquent, les élèves se soucient davantage du résultat à obtenir que du processus qui les conduit à ces résultats. Les enseignants, conscients de ces faits, évoquent diverses raisons. Rappelons quelques-unes d'entre elles :

- le temps alloué aux cours de biologie (4 heures par semaine) ne permet pas de mener des activités de laboratoire pour pouvoir couvrir tout le programme dispensé dans les classes du secondaire ;
- contraintes ayant trait aux capacités limitées des élèves à gérer l'abstrait ;
- obstacles liés à la causalité non déterministe mais probabiliste qui caractérise les lois de la génétique mendélienne.

Ces considérations nous ont amené à formuler une solution qui semblait être, selon nous, un des remèdes à cette situation. Dans de telles circonstances, l'emploi d'un simulateur interactif, dont l'approche est centrée sur une simulation modélisante, bien qu'il ne constitue pas la solution complète à la problématique de l'enseignement de la génétique, peut toutefois faciliter la mise en place d'activités favorisant chez l'étudiant une démarche inductive. Démarche qui serait centrée sur une approche cognitive et une conception dynamique de l'apprentissage par opposition à une approche déductive largement utilisée dans les écoles pour enseigner la génétique. C'est cette solution qui a motivé l'objet de cette étude.

L'étape subséquente, selon le modèle de Nonnon (1987), consiste à confronter cette idée à des considérations d'ordre théoriques et pratiques susceptibles de la consolider, de l'enrichir, de la nuancer ou de la rejeter.

3.3.2. Considérations théoriques appuyant notre idée

Même si nous avons évoqué dans le chapitre antécédent (chapitre 2) certaines considérations théoriques étayant notre idée, il nous semble pertinent de reprendre ici quelques-unes d'entre elles en les développant. Nous analyserons dans un premier temps les arguments en faveur de l'utilisation de l'ordinateur en éducation de façon générale. Dans une seconde étape, nous présenterons les situations pédagogiques pertinentes de l'utilisation de la simulation assisté par ordinateur dans l'enseignement des sciences expérimentales et nous compléterons l'ensemble de ces considérations en précisant les avantages pédagogiques de la simulation par ordinateur dans l'enseignement de la biologie, notamment en génétique.

3.3.2.1. Les applications pédagogiques de l'ordinateur

L'Unesco (1986) souligne, en évoquant les résultats d'une enquête, que l'ordinateur a des applications au primaire et au secondaire dans plus de 58 pays, et qu'il va, selon toute vraisemblance, conquérir, dans un avenir prévisible une place importante dans un grand nombre d'autres pays. Cette prolifération qui est apparemment un phénomène mondial va, sans aucun doute, se poursuivre à un rythme accéléré dans l'avenir. En effet, divers arguments plaident en faveur de l'utilisation de cette nouvelle technologie dans les écoles.

Des experts qui oeuvrent au sein de l'Unesco, comme Lauterbach et Frey (1987) de même que Sewell et Rotheray (1987), se sont interrogés sur les avantages de l'utilisation de l'ordinateur à des fins pédagogiques. Ils soulignent qu'il n'y a pas de réponse simple à une telle question, néanmoins ils distinguent deux (2) grands intérêts.

D'abord, l'ordinateur améliorerait les performances dans certains secteurs précis des programmes d'enseignement. Son utilisation permet, selon ces auteurs, de rendre l'enseignement plus facile, plus rapide et plus approprié. Il libérerait l'enseignant de certaines tâches routinières et contribuerait à la mise en place d'activités éducatives incontestables.

Ensuite, l'exploitation de l'ordinateur permet de développer des capacités cognitives générales et spécifiques. L'accent est mis sur les processus sous-jacents à la mise en oeuvre d'aptitudes particulières telles que la résolution de problèmes, l'analyse et la synthèse de données. Le défenseur le plus illustre de ce courant est Papert (1994), pour qui l'ordinateur a les moyens de développer des capacités cognitives générales et peut créer de nouveaux modes d'enseignement et d'apprentissage.

Depover (1990) voit, de son côté, deux grands intérêts à recourir à l'ordinateur dans l'enseignement :

- il constitue un moyen d'interaction individualisé et adapté aux réponses, aux préalables et au cheminement spécifique de chaque élève ;
- il contrôle un nombre important de facteurs d'apprentissage, notamment ceux qui relèvent de la rétroaction et qui font de lui, l'outil d'enseignement adaptatif par excellence.

L'avantage absolument incontesté de pouvoir fournir sur le champ à l'utilisateur une rétroaction après chacune de ses réponses constitue, à lui seul, un argument de taille et milite en faveur de l'utilisation de cet outil dans l'enseignement.

Tout récemment, Kerr (1996) indique que l'ordinateur est passée de l'outil accessoire, à l'instrument obligatoire. Selon cet auteur, avec cette technologie, l'enseignement se transformera complètement dans un futur proche.

Pour Bordeleau (1994) l'ordinateur paraît comme un miroir cognitif puissant. Il justifie ses propos en soulignant que la mémoire de travail humaine a une capacité réduite, ce qui lui impose des limites dans la façon de traiter et d'acquérir de nouvelles connaissances. Pour cet auteur, l'ordinateur est utilisé dans le domaine de l'éducation pour compenser ces limites, en offrant un support externe favorisant l'intégration de nouvelles connaissances en rafraîchissant les préalables pour les articuler au réseau conceptuel préexistant. Nous retrouvons ces mêmes assertions dans un nombre imposant de travaux (Desautels, 1995 ; Hudon 1994 ; Lebrun, 1991 ; Loiselle 1987 ; Nonnon, 1986). Ainsi l'ordinateur peut être un support au processus d'apprentissage pour faciliter l'acquisition de nouveaux savoirs, de nouvelles habiletés, en activant les stratégies cognitives mises en oeuvre chez l'apprenant, comme la recherche, le décodage rapide de l'information, le questionnement, la structuration de la démarche dans l'élaboration des connaissances, dans la formulation des hypothèses et dans la prise des décisions. Toujours selon Bordeleau (1994), "L'ordinateur incite l'élève à réfléchir sur son fonctionnement cognitif, à verbaliser ses stratégies, à mieux comprendre son processus d'apprentissage, à objectiver sa démarche" (p. 24). Il agit donc comme un révélateur à la fois des compétences et des connaissances de l'élève et dévoile les mécanismes par lesquels s'acquièrent ces connaissances et les aptitudes de raisonnement.

Tout ce qui précède correspond à des considérations fort générales sur le rôle de l'ordinateur dans l'enseignement. La valeur formatrice de cet outil, centrée sur une approche interactionniste-constructiviste, constitue sans équivoque un argument valable qui milite en faveur de notre idée de départ. Voyons maintenant quelques considérations plus spécifiques qui sont en faveur de l'utilisation de la simulation dans l'enseignement scientifique.

3.3.2.2. Considérations en faveur de l'utilisation de la simulation en sciences

Les considérations présentées dans cette section sont issues des travaux qui ont étudiés le rôle de la simulation dans l'enseignement des sciences expérimentales (chimie, physique et biologie). Ces recherches (Beaufils et *al.*, 1987 ; Blondel et Schowb, 1985, 1996 ; Desautels, 1995, Hebenstreit, 1980 ; Lauterbach et Frey, 1987 ; Loïselle, 1987 ; Lunetta et Hofstein, 1981 ; Milot, 1996 ; Richard-Molard, 1996) sont unanimes et soulignent que l'utilisation de la simulation s'avère pertinente lorsqu'on vise l'acquisition de concepts complexes ou d'habiletés d'apprentissage globales telles l'habileté à analyser une situation, à résoudre des problèmes, à tirer des conclusions.

a) Situations pertinentes de l'utilisation de la simulation par ordinateur

Divers travaux énumèrent une série de raisons qui justifient la substitution de l'expérimentation réelle par la simulation sur ordinateur (Beaufils et *al.*, 1987 ; Desautels, 1995 ; Loïselle, 1987). Nous résumons ces raisons à travers les points suivants :

- l'équipement nécessaire à l'expérimentation n'est pas disponible ;
- l'équipement indispensable à l'expérimentation est trop complexe ou trop délicat pour être manipulé par les étudiants ;
- l'échantillon disponible pour l'expérimentation n'est pas assez grand pour générer des résultats significatifs ;
- l'expérimentation est complexe ou présente des dangers pour les étudiants visés ;
- le phénomène à l'étude ne peut être expérimenté directement ;
- difficultés d'effectuer des mesures sur certaines variables mises en cause ;
- des éléments parasites liés à l'expérimentation en rendent l'interprétation difficile ;
- le temps est soit trop court ou très long pour permettre aux élèves d'extraire des résultats significatifs des expériences réalisées.

Dans plusieurs cas, la simulation viendra donc suppléer une expérimentation qu'il serait difficile d'effectuer dans le laboratoire concret. Les simulations ne doivent cependant pas être considérées uniquement comme des succédanés à l'expérience en laboratoire.

Ce type de matériel possède des caractéristiques propres qui peuvent être exploitées sur le plan pédagogique.

b) avantages pédagogiques de la simulation par ordinateur

Sur le plan didactique, la simulation demande une participation active de la part de l'étudiant. Celui-ci doit prendre des décisions et proposer des réponses en rapport avec la situation présentée. Hebenstreit (1980) y voit, entre autres, la possibilité de développer des habiletés de recherche et de stimuler la créativité chez l'étudiant.

Selon Loiseau (1987), la simulation favorise le développement du raisonnement inductif. L'étudiant ne connaît pas le modèle sous-jacent à la simulation et tente de découvrir un modèle explicatif en observant les résultats obtenus dans diverses situations. La rapidité d'exécution de l'ordinateur lui procure un avantage potentiel sur l'expérience directe.

Les études de cas colligées par Orpwood et Souque (1984) mettent en évidence la difficulté, dans le contexte scolaire, de développer chez l'étudiant des habiletés telles que la formulation et la vérification d'hypothèses. Les avantages pratiques liés à la simulation pourraient favoriser ce genre de comportement. À l'aide de l'ordinateur, l'étudiant peut mener une expérience plusieurs fois sans se préoccuper des calculs indispensables aux acquisitions requises. Ainsi, il amasse un ensemble de données suffisant pour lui permettre de rechercher un modèle explicatif cohérent.

S'il est programmé pour le faire, un simulateur peut réaliser ces calculs complexes qui forment souvent des obstacles empêchant l'étudiant de centrer sa réflexion sur l'identification des variables pertinentes et leurs modalités d'interaction. Cette propriété permet de court-circuiter l'approche essentiellement analytique adoptée pour l'enseignement de la biologie. Si le logiciel de simulation prend en charge tout ou en partie ces calculs, l'étudiant peut alors se

concentrer sur sélection des facteurs mis en cause par le phénomène. La capacité de calcul de l'ordinateur procure ainsi des avantages qui ne se limitent pas seulement à un gain de temps.

La spécificité, sur le plan symbolique, du média qu'est l'ordinateur en fait un outil capable de représenter un phénomène sous une forme qui lui est propre (Nonnon, 1986). Cette spécificité peut être mise à contribution pour favoriser l'apprentissage. Le phénomène à l'étude peut être visualisé à l'écran sous deux modes de représentations: un mode de représentation iconique (figuratif) et un mode de représentation abstrait lié aux opérations logico-mathématiques (graphiques, formules algébriques).

Selon Nonnon (1986), une stratégie d'enseignement qui vise à développer le processus inductif chez l'étudiant, s'efforcera de faire intervenir simultanément ces deux types de représentations pour permettre aux apprenants d'appréhender le phénomène, à la fois, sous sa forme concrète et abstraite.

Dans le domaine de la biologie, notamment en génétique, une démarche inductive doit amener l'étudiant à dégager des lois à partir des expériences et des observations. Mais, dans bien des cas, le passage de l'expérience concrète à la représentation abstraite du phénomène paraît très difficile pour les étudiants. Alors, qu'avec une simulation modélisante, combinant en temps réel la représentation iconique et symbolique, peut combler ce fossé.

En plus de ces avantages sur le plan cognitif, plusieurs auteurs (Hebenstreit, 1980 ; Desautels et Desautels, 1994 ; Desautels, 1995 ; Loiselle, 1987) confèrent à la simulation un impact positif sur la motivation des étudiants. Certaines caractéristiques reliées à ce type de matériel telles l'interactivité et la possibilité de prendre des décisions peuvent en partie expliquer cet état de chose.

Nous avons résumé dans la section précédente quelques points qui soutiennent notre idée, il convient maintenant de passer à l'étape suivante qui devrait déboucher sur ce que Nonnon (1987) appelle le "Modèle d'action". Préalablement, il importe de spécifier une série de principes et de choix indispensables à l'élaboration de notre simulateur à l'état de prototype et à l'opérationnalisation de notre modèle d'action. Le modèle d'action sera donc présenté au prochain chapitre (chapitre 4).

3.3.3. Principes et choix préalables à l'opérationnalisation de l'idée

À travers des choix et des décisions, puisés dans divers travaux, cette phase doit nous conduire à déterminer des principes qui vont définir la toile de fond à partir de laquelle sera élaboré le modèle d'action. Ces choix et ces principes vont constituer également des jalons pour développer le simulateur à l'état de prototype. Il nous semble donc important de déterminer ces choix et ces décisions.

L'O.C.D.E (1989) estime qu'il y a, rien qu'aux États-Unis, entre 1500 et 2400 nouveaux logiciels éducatifs publiés chaque année. Les données concernant la croissance du nombre de didacticiels dans les pays membres de l'O.C.D.E font apparaître un volume imposant. À son désespoir, l'O.C.D.E (1989) rapporte qu'on trouve autant de démarches de production de didacticiels qu'il y a de logiciels. Néanmoins, divers travaux (Bégin et Leclerc, 1985 ; Depover, 1990 ; Fortin, 1990 ; Gerard et Roegiers, 1994 ; Loiselle, 1987), nous livrent des pistes susceptibles d'éclairer notre travail. Ces études tracent des étapes préalables permettant de "façonner" notre conception, avant même d'opérer des choix techniques liés à l'écriture informatique. Comme le signale Depover (1990), le chemin qui mène de l'analyse des besoins à un didacticiel prêt à être utilisé est long et semé d'embûches. Pour cet auteur, seule une approche basée sur des étapes clairement définies pourra, tout en évitant des déboires, conduire à un produit satisfaisant.

Aussi, après avoir envisagé plusieurs approches ayant mis au point des projets assistés par ordinateur et développés dans des contextes différents, nous sommes arrivé à extraire une démarche articulée autour de cinq (5) phases : préciser la structure modulaire ; construire la scénarisation ; établir les principes qui définissent le profil du logiciel ; déterminer le modèle d'action ; choisir le support technique et, finalement, médiatiser le logiciel, autrement dit le programmer. Le présent chapitre s'attaque seulement aux trois premiers points. Comme indiqué plus haut, le modèle d'action sera exposé dans le cadre du prochain chapitre (chapitre 4), alors que les supports techniques et la programmation du simulateur seront présentés dans un autre chapitre (chapitre 5).

3.3.3.1. Préciser la structure modulaire

Les principes adoptés ici s'inspirent largement de l'approche de production des didacticiels proposée par Depover (1990). À travers la gestion de nombreux projets en matière de conception de produits d'enseignement assistés par ordinateur, cette approche a révélé son efficacité.

Depover (1990, p. 11) considère que pour servir de base à un cours, un contenu doit réunir au moins trois (3) caractéristiques principales : il doit suffisamment être stable pour n'exiger que des réajustements mineurs ; il doit concerner un public-cible bien déterminé et, enfin, il doit tenir compte des préalables nécessaires à la compréhension des modules qui constituent le cours.

Les lois de Mendel qui régissent la transmission des caractères héréditaires, tant chez les animaux que chez les végétaux, répondent à ces trois exigences. D'abord, ces lois figurent dans les manuels scolaires tant au niveau secondaire, collégial qu'universitaire. Ensuite, ce contenu ne concerne pas seulement les élèves du secondaire marocain (public-cible visé par cette étude), mais s'adresse aussi, moyennant quelques adaptations mineures, à d'autres étudiants appartenant à d'autres pays puisque les lois de Mendel constituent un savoir universel, au même titre qu'une équation du premier degré en mathématiques. Enfin, l'intégration des lois de Mendel nécessite la maîtrise de pré-requis qui se trouvent en amont de ces lois.

Suite aux suggestions avancées par Depover (1990), nous avons jugé utile de préciser la structure modulaire du simulateur. Les manuels scolaires (Dion et *al.*, 1983 ; Stanfield, 1975), qu'ils soient conçus en Belgique, en France, au Québec, ou au Maroc, révèlent un enchaînement conceptuel quasi identique pour dispenser les lois probabilistes de Mendel. Ils subdivisent ces lois en quatre (4) modules successifs :

- le monohybridisme : qui traite la transmission d'un seul caractère héréditaire porté par les chromosomes autosomiques, non sexuels ;

- le dihybridisme : concerne la transmission de deux caractères héréditaires indépendants et gouvernés par des chromosomes autosomiques;
- l'hérédité liée au sexe : traite la transmission d'un ou plusieurs caractère(s) héréditaire(s) indépendant(s) situé(s) sur des chromosomes sexuels ;
- le "*linkage*" est consacré à la transmission de deux caractères héréditaires dépendants, liés et situés sur un même chromosome.

Nous avons assigné à chacun de ces modules des objectifs d'apprentissage en précisant les concepts qui devraient être maîtrisés par les utilisateurs à l'issue de chaque module. Une attention particulière fut accordée à la formulation de ces objectifs. Bégin et Leclerc (1985) écrivent, à ce titre, que pour pouvoir faire l'objet d'une évaluation rigoureuse, les objectifs doivent être exprimés en terme de compétences facilement appréciables. Ils doivent traduire ce que l'utilisateur devrait être capable de réaliser pendant et à la fin de chaque module.

3.3.3.2. Réalisation d'une maquette papier : la scénarisation

Selon (Depover, 1990 ; p. 12), pour remplir efficacement son rôle, la maquette doit être à la fois détaillée, précise et bien structurée. Les phases que nous décrivons ici, nous ont permis de formuler une série de principes qui vont déterminer les caractéristiques pédagogiques et techniques du simulateur à l'état de prototype, ainsi que les ressources de soutien qui lui seront intégrés, comme la documentation d'accompagnement.

La première exigence, à savoir le détail, fait référence au fait que toute l'information qui devra paraître à l'écran, une fois le prototype terminé, doit être identique à la structure définitive de la maquette tant sur le plan de la forme que du font. Il s'agit de définir, notamment, le type de caractère typographique à utiliser, la couleur, l'emphase visuelle, la présentation à l'écran, l'interaction avec le logiciel, les divers cheminements et les liens entre les différentes unités du logiciel.

Quant à la précision, elle fait appel à la manière dont les informations notionnelles devraient être communiquées aux utilisateurs. Barthet (1988) et Depover (1990) nous

indiquent clairement, à cet effet, qu'il faut faire usage d'un système conventionnel uniforme, explicite et de systématiser au maximum les modalités de présentation.

Enfin, la troisième exigence liée à la structure, elle renvoie à la structure du contenu et à son organisation. Depover (1990) livre des pistes adéquates qui permettent de respecter la structure modulaire pour la rendre aussi précise que possible. L'auteur suggère d'utiliser, entre autres, des illustrations sous forme de schémas ou de tableaux pour ne pas alourdir indûment le contenu et pour éviter de surcharger inutilement la mémoire de l'ordinateur.

En nous référant à ces prescriptions, nous avons élaboré notre maquette selon les orientations suivantes :

- dès la phase de spécification des objectifs, nous avons organisé les modules en une série d'activités cohérentes représentant chacune entre 50 à 60 minutes d'apprentissages ;
- en tenant compte des objectifs et des préalables qui caractérisent chacun de ces modules, nous avons défini la structure modulaire globale du cours, ce qui a permis d'établir non seulement ce qui sera enseigné, mais aussi dans quel ordre et selon quelle stratégie pédagogique ;
- la structure modulaire une fois définie, nous avons divisé les modules en sous-modules. Ces parties constituent l'unité minimale de structuration d'un cours, c'est-à-dire le plus petit ensemble à partir duquel l'étudiant pourra organiser son apprentissage ;
- enfin, au niveau le plus atomisé, nous avons conçu la page-écran qui précise les informations qui seront affichées sur chacun des écrans présentés à l'utilisateur.

Afin de disposer d'une maquette assez complète, dont les parties doivent être bien articulées et bien enchaînées, nous avons consulté trois sources d'informations, à savoir les didacticiels déjà développés, les rapports d'appréciation des logiciels éducatifs et les grilles d'évaluation des didacticiels.

L'analyse de ces trois sources d'informations nous a conduit à identifier des critères à partir desquels nous avons conçu notre simulateur. Nous évoquons, dans un premier temps, la nature de ces sources d'information, ensuite, nous précisons les principes qui ont découlé de cette analyse.

a) les didacticiels en biologie

En consultant les catalogues du matériel didactique informatisé pour l'enseignement des sciences aux niveaux secondaire et collégial, nous avons repéré une trentaine (30) de logiciels qui semblaient répondre aux besoins de la présente étude. Comme la plupart de ces outils sont construits et commercialisés aux États-Unis, au Canada et en Europe, nous avons limité notre analyse aux productions conçues lors des dix (10) dernières années. Sur les 30 logiciels auxquels nous avons eu accès, nous avons procédé à un tri pour écarter les tutoriels, les exercices et ceux qui ont pour but de transmettre des connaissances factuelles. Cette étape nous a conduit à sélectionner huit (8) logiciels qui simulent des phénomènes en biologie et qui semblaient près de nos préoccupations. On trouvera en appendice (annexe 2) la liste des didacticiels qui furent analysés et explorés.

Pour procéder à un choix judicieux et pertinent, parmi les 8 simulateurs, nous avons décidé de les analyser en vue de ne retenir que ceux qui pourraient avoir un impact direct et efficace sur notre démarche conceptuelle ; mais surtout pour éviter une réalisation identique à ce qui existe déjà. Sur les 8 logiciels, nous avons examiné quatre (4) logiciels, dont certains sont diffusés en Amérique et d'autres au Canada. Ces didacticiels sont répertoriés dans les catalogues des logiciels éducatifs ou dans des revues spécialisées, notamment par Modell (1992). L'exploration de ces didacticiels, nous a informé, entre autres, sur :

- les obstacles qui peuvent nuire à la conception des simulateurs interactifs ;
- la façon d'élaborer des expériences simulées, où l'étudiant choisit lui-même les paramètres et leurs variations ;
- la manière de placer les étudiants en situation de démarche expérimentale.

Bien qu'ils nous ont livré des pistes utiles pour bâtir notre outil, ces logiciels ne donnent aucun accès à des techniques de traitement des données statistiques, par conséquent l'étudiant ne peut faire aucune modélisation des résultats observés lors de ses expériences. Par ailleurs, ces didacticiels ne proposent pas des activités permettant aux utilisateurs de consolider leurs connaissances dans le domaine de la transmission des caractères héréditaires, ce qui les empêche de faire des généralisations en extrapolant les lois de Mendel à d'autres espèces animales ou végétales. L'évaluation suggérée est du type questions à choix multiples (Q.C.M). Cette façon de procéder, nous paraît très limitée car les utilisateurs n'ont pas l'occasion d'investir leurs connaissances dans des situations de raisonnement.

b) les rapports d'appréciation des didacticiels

La deuxième source d'information qui fut analysée est constituée de quelques rapports d'évaluation de didacticiels rédigés par des équipes spécialisées dans le domaine (Bégin et Leclerc, 1985 ; Bitter et Wighton, 1987 ; Depover, 1990 ; Jolicoeur et Berger, 1986). Notre but est de tirer le meilleur profit des critiques formulées par les examinateurs des logiciels éducatifs en identifiant les critères d'excellence que ces experts attribuent à ces outils.

c) les grilles d'évaluation des didacticiels

Notre travail s'est aussi inspiré des grilles d'évaluation de logiciels éducatifs, surtout celles qui ont mérité une attention particulière et qui sont régulièrement citées dans des travaux (Donnay et Romainville, 1984 ; Gingras, 1989 ; Lauterbach et Frey, 1987). Notre objectif est de repérer des critères qui permettent de soutenir notre démarche en vue de concevoir le simulateur à l'état de prototype.

À ce titre, divers organismes ont mis au point des instruments d'évaluation propres à un domaine d'étude particulier ou à un type spécifique de logiciels. Le *National Science Teachers Association* (N.S.T.A) et l'*Educational Software Evaluation Consortium* (E.S.E.C) aux États-Unis ont développé des instruments destinés à apprécier des logiciels en sciences. Bitter et Wighton (1987) décrivent une enquête sur les principaux critères employés par les membres de ces organismes. L'étude demandait à ces membres de classer une

centaine de descripteurs par ordre d'importance sous les rubriques: le contenu pédagogique, l'aspect technique, l'interactivité et les documents de soutien. Cet exercice a donné lieu à la classification suivante :

Contenu pédagogique

- le logiciel utilise des méthodes innovatrices et favorise la créativité chez l'élève ;
- l'utilisateur est incité à faire usage de compétences d'ordre supérieur telles que l'analyse, la synthèse et la résolution de problèmes ;
- le logiciel varie les méthodes de présentation du contenu ;
- le logiciel permet des réponses libres, en langage naturel ;
- le logiciel présente un sujet qui est difficile à explorer par des moyens conventionnels ou qui engage l'élève dans des expériences difficiles à reproduire réellement ;
- le logiciel peut être intégré facilement à la pratique de la classe ;
- le contenu du logiciel a un lien direct avec le programme d'enseignement ;
- l'enseignant peut adapter le contenu et les critères d'évaluation.

Caractéristiques techniques

- le didacticiel offre diverses modalités d'apprentissage, par exemple auditives et visuelles ;
- l'élève peut quitter le logiciel en un point quelconque et y retourner tout en gardant intacts les travaux précédents ;
- l'utilisateur peut remonter à volonté dans la hiérarchie modulaire pour réviser ses réponses et le contenu ;
- le logiciel intègre un gestionnaire des notes et des travaux que l'utilisateur peut consulter en tout temps ;
- le logiciel offre la possibilité d'imprimer les résultats et les documents créés par l'élève.



Interactivité


- l'interaction est qualitativement et quantitativement bien dosée pour favoriser l'apprentissage ;
- l'utilisateur peut contrôler le rythme de ses apprentissages ;
- le logiciel évalue régulièrement le travail de l'élève et réagit en lui envoyant des messages appropriés et efficaces ;
- il existe des branchements qui permettent d'offrir à chaque élève un enseignement individualisé selon ses besoins ;
- le didacticiel est doté de fenêtres d'aide affichant des messages correctifs.

Documents de soutien

- les documents destinés à l'enseignant décrivent les liens entre le sujet présenté et les manuels scolaires et donnent des suggestions d'utilisation ;
- les documents d'accompagnement de l'élève orientent le travail et l'accomplissement des tâches.

Comme on peut le constater, cette liste met en lumière une forte insistance sur le contenu et la pédagogie, par opposition aux critères liés à l'aspect technique. D'après Bitter et Wighton (1987), les évaluateurs des logiciels, auparavant centrés sur des considérations purement techniques comme la présentation de la page-écran, la couleur, le son, le graphique et l'animation, s'intéressent maintenant à la valeur pédagogique des didacticiels et à la place qu'ils peuvent occuper dans les programmes scolaires.

Bien que cette liste soit utile pour inspirer les concepteurs des didacticiels, il convient d'y apporter deux commentaires principaux.



Premièrement, ces critères ne doivent pas être considérés comme exhaustifs et servir d'une liste standard pour l'évaluation des logiciels, sans que ces caractéristiques soient plus explicitées, plus spécifiées et plus élaborées.

Deuxièmement, il nous semble légitime de se demander si la méthodologie employée n'est pas un peu trop simpliste et dans quelle mesure ce classement est influencé par le type prédominant de logiciels que ces organismes évaluent. Aurait-ils classé ces critères dans le même ordre d'importance pour des types de logiciels différents ?

Si les descripteurs issus de l'analyse précédente peuvent contribuer à déterminer quelques principes pour façonner le profil de notre simulateur, ils nous paraissent par contre insuffisants, vagues et généraux. Aussi, avons-nous jugé indispensable d'alimenter notre travail par d'autres prémisses susceptibles de nuancer notre entreprise.

3.3.3.3. Principes généraux définissant le profil du prototype

Lors de l'établissement d'un répertoire des critères généraux définissant le profil du simulateur à l'état de prototype, nous avons relevé que certains travaux (Depover, 1990; Lautherbach et Frey, 1987 ; Mataigne, 1987 ; l'O.C.D.E, 1989 ; Plante, 1984) considèrent qu'un logiciel éducatif doit répondre à un seuil minimal déterminé par des critères appartenant à trois grandes catégories qui sont : a) les ressources techniques ou matérielles ; b) l'intérêt pédagogique ; c) les documents de soutien. Le département de l'Éducation de l'État de Californie a publié des "*Guidelines for Educational Software in California Schools*" (principes directeurs des didacticiels dans les écoles en Californie) sous trois rubriques similaires aux catégories proposées par les auteurs cités ci-haut. Chaque catégorie comporte des critères qui sont considérés comme essentiels et indicateurs de l'excellence. La rubrique "intérêt pédagogique" concerne le sujet présenté et la stratégie d'apprentissage. Les "ressources matérielles" ont trait au support technologique et au fonctionnement du programme. Les "documents de soutien" sont les manuels que les utilisateurs devraient avoir à leur disposition pour pouvoir utiliser le logiciel de façon adéquate.

Nous avons examiné les descripteurs appartenant à ces trois catégories dans le but de vérifier s'ils trouveraient leur fondement dans la présente étude et, si tel était le cas, de dégager à partir de ces critères des principes directeurs définissant le profil de notre logiciel.

Nous présentons d'abord les critères relatifs aux ressources matérielles, ensuite les critères ayant trait à l'intérêt pédagogique. Enfin, nous ferons part des critères relatifs aux documents de soutien.

3.3.3.3.1. Critères relatifs aux ressources matérielles

Selon Mataigne (1987), le matériel, c'est-à-dire, le logiciel doit être transparent, au point de disparaître pour nous laisser accéder au coeur de la pédagogie. Ce principe est également souligné de façon limpide par Meunier et Giardina (1990, p. 14), pour qui "La technologie ne doit jamais porter ombrage aux contenus". La clarté du logiciel a sa raison d'être puisque même les promoteurs de l'évaluation des didacticiels (Bégin et Leclerc, 1985 ; Depover, 1990 ; Jolicoeur et Berger, 1986) insistent aussi sur cette transparence souhaitée par Mataigne.

Ainsi, dans le cadre de ce travail, les critères retenus appartenant aux ressources matérielles s'organisent autour des notions suivantes : la fiabilité technique, la flexibilité, la facilité d'utilisation, le temps d'exécution, la présentation à l'écran et, finalement, l'utilisation des effets sonores. Même si certains travaux (Bégin et Leclerc, 1985 ; Jolicoeur et Berger, 1986) incluent les documents d'accompagnement dans les ressources matérielles, chose qui nous semble totalement logique, nous avons jugé utile de leur réserver une section particulière. Aux documents d'accompagnement, nous ajouterons l'encadrement humain et nous intitulerons l'ensemble "ressources à intégrer au simulateur".

La fiabilité technique

Les principales questions soulevées par les examinateurs des didacticiels concernant la fiabilité technique peuvent s'articuler autour des points suivants : le didacticiel fonctionne-t-il de manière fiable ? Est-il protégé contre les erreurs de manipulation ? Le risque d'arrêt du

programme peut-il être indiqué avec précision ? Le programme démarre-t-il instantanément (démarrage automatique) ? Dans les grilles d'évaluation et les rapports d'appréciation des logiciels éducatifs, un didacticiel est dit fiable lorsqu'il :

- ne présente pas de défaillance technique ;
- ne comporte pas de problèmes techniques de fonctionnement ;
- fait ce qu'il doit faire ;
- est protégé contre toute modification du programme informatique, surtout par les élèves ;
- est imperméable aux erreurs générées par une utilisation abusive des touches ;
- demande une confirmation avant d'entreprendre un processus destructif.


Ces critères nous ont amené à identifier un premier principe, selon lequel nous devons bâtir notre simulateur à l'état de prototype.

Principe 1 : Le didacticiel doit être fiable lorsqu'il est utilisé normalement.

La flexibilité

Selon Depover (1990) et Lebrun (1991), un didacticiel est dit flexible ou "ouvert" lorsqu'il permet à l'enseignant d'accéder à ses fichiers et/ou à son programme informatique afin de modifier certaines de ses parties pour l'adapter aux besoins de son enseignement. Donc, un logiciel est dit flexible si l'enseignant peut :

- modifier certaines parties afin de l'adapter à ses étudiants : ajout d'exemples ou d'exercices ;
- modifier les barèmes de notation et les critères d'évaluation ;

- 
- ajouter de nouvelles variables au programme ou en éliminer d'autres ;
 - conserver sur des disquettes un fichier qui vient d'être remplacé ou modifié.

Ces conditions nous amènent à formuler le principe suivant.

Principe 2 : Le didacticiel doit être flexible pour permettre à l'enseignant de l'adapter à ses besoins.
--

La facilité d'utilisation

Un didacticiel a la qualité d'être facile d'utilisation, lorsque l'apprenant peut l'utiliser sans avoir recours à une aide extérieure :

- l'utilisation du didacticiel n'exige aucune connaissance informatique préalable ;
- la technique de manipulation est transparente ;
- le logiciel incorpore une démonstration illustrant le mode de fonctionnement ;
- les opérations de mises en marche et d'arrêt du didacticiel sont minimales ;
- l'utilisateur n'a pas besoin de mémoriser des commandes ou des fonctions ;
- il est simple et facile de saisir des données dans l'ordinateur ;
- le didacticiel s'opère tel que spécifié dans le guide d'accompagnement ;
- les consignes pour lancer, manipuler et quitter le didacticiel sont dans un langage adapté et facile à comprendre par le public cible.

De ces critères, nous formulons un troisième principe directeur.

Principe 3 : Le didacticiel doit être facile d'utilisation.



Le temps d'exécution et de réaction

Barthet (1988) soulève la question suivante : "Quel est le temps de réponse idéal d'un logiciel, suite à une commande ?" (p. 90). Même si la réponse à cette question reste équivoque, certaines recommandations avancées par Depover (1990) et Barthet (1988), nous ont permis de récolter quelques critères qui déterminent le temps d'une réaction appropriée. Ces auteurs suggèrent que le temps de réaction doit être réduit au minimum (3 secondes), dans le cas contraire envoyer un message d'attente indiquant à l'utilisateur qu'une opération est en cours d'exécution. Les descripteurs identifiés peuvent se résumer en ces termes :

- le temps de chargement du didacticiel doit être adéquat ;
- le temps de réaction à une commande ne doit pas dépasser 3 secondes ;
- envoyer un message à l'utilisateur dans le cas où la réaction excède 3 secondes ;
- le temps alloué à l'apprenant pour répondre à des questions ou pour réaliser des travaux doit être affiché.

En résumé, la durée de réaction à une commande doit être réduite et dans le cas contraire afficher un message d'attente. Ces critères, nous amènent à énoncer un nouveau principe de la façon suivante :

Principe 4 : Le temps d'exécution des commandes ne doit pas dépasser trois (3) secondes. Dans le cas contraire, envoyer un message d'attente à l'utilisateur.

La présentation à l'écran

La page-écran constitue la visualisation des notions à traiter ; elle actualise en quelque sorte le contenu. De bonnes pages-écrans peuvent faciliter la compréhension et même susciter l'intérêt de l'utilisateur. Les critères répertoriés ici sont largement puisés des travaux de la psychologie cognitive et de l'ergonomie des logiciels éducatifs (Barthet, 1988). Ils concernent trois aspects : les écrans, les graphiques, et la couleur.

Les écrans

Le travail interactif avec l'ordinateur se déroule principalement en face de l'écran cathodique. Les travaux de Barthet (1988) et de Depover (1990) montrent qu'il y a deux types de stratégies pour décoder l'information présentée sur l'écran d'un ordinateur. L'utilisateur fait soit une exploration globale, on parle ici de "recherche systématique" ou une exploration sélective, il s'agit dans ce cas d'une "recherche sélective".

Dans une recherche systématique l'utilisateur décode l'information dans le sens gauche/droite en allant du haut vers le bas de l'écran. Des études menées dans le domaine de la publicité, pour identifier comment les consommateurs captent une information présentée sur un spot publicitaire, arrivent au même constat. Le consommateur fait un balayage rapide en partant du coin supérieur gauche, parcourt ensuite la ligne diagonale du coin supérieur droit au coin inférieur gauche et, finalement, le sujet fait une lecture du coin inférieur gauche au coin inférieur droit. En somme, il décode l'information en faisant un "Z" avec ses yeux.

Nous pouvons déduire de ces éléments que les informations importantes, qui doivent être retenues et captées par l'utilisateur devraient être placées à l'écran selon la forme d'un "Z". En plus de ces propositions ayant trait à la façon de présenter l'information sur l'écran, Depover (1990) nous conseille de tenir compte aussi des points suivants :

- le contenu doit être aéré afin de faciliter la lecture ;
- les pages-écrans doivent avoir une présentation standardisée, agréable et soignée ;
- les menus doivent être placés soit en haut ou en bas de l'écran et jamais sur les côtés ;
- construire des pages-écrans qui facilitent le repérage de l'information par l'apprenant ;
- le déroulement des pages-écrans doit être logique et adéquat.

Ceci nous amène à formuler un autre critère définissant le simulateur à l'état de prototype. Il s'écrit ainsi :

Principe 5 : Construire des pages-écrans aérées, structurées permettant à l'utilisateur de repérer rapidement l'information.

Les graphiques

- les graphiques sont bien intégrés au contenu ;
- les graphiques sont utilisés pour simplifier les concepts abstraits et pour mettre l'emphase sur l'information importante ;
- l'animation doit être utilisée de façon appropriée ;
- le graphisme doit avoir un sens.

Principe 6 : Présenter l'information à l'écran sous forme graphique, de tableaux et d'illustrations pour permettre à l'utilisateur de la décoder facilement.

La couleur

- la couleur permet de différencier ou de mettre en évidence ce qui est important. Elle doit être porteuse de sens ;
- la couleur est utilisée pour enseigner les relations et les différences ;

De ces recommandations, il en découle un septième principe qui devrait déterminer le profil de notre prototype. Nous le formulons ainsi :

Principe 7 : Utiliser la couleur pour mettre en valeur les facteurs héréditaires.

Les effets sonores

Pour (Depover, 1990), le son doit être utilisé soit pour varier les modalités de la présentation des informations, soit pour attirer l'attention de l'utilisateur sur un fait particulier. De cette proposition, nous formulons un huitième principe dont nous tiendrons compte au moment de l'élaboration du simulateur à l'état de prototype. Nous l'énonçons de la façon suivante :

Principe 8 : Le son devra être utilisé de façon adéquate pour mettre l'emphase sur un fait particulier.

Cette première partie, reliée aux principes généraux définissant le profil du simulateur, avait pour but d'extraire les caractères relatifs aux ressources matérielles. Les critères retenus découlent de l'analyse de trois sources d'information, qui sont : quelques didacticiels en biologie, certains rapports d'appréciation de logiciels éducatifs et, finalement, quelques grilles d'évaluation des didacticiels. La section suivante expose les critères relatifs au processus d'apprentissage.

3.3.3.3.2. Critères relatifs au processus d'apprentissage

Contrairement aux critères liés aux ressources matérielles, ceux qui relèvent de l'analyse du processus d'apprentissage ne sont pas spécifiques à l'E.A.O. En effet, ils ne sont pas établis en fonction d'un médium éducatif donné. Ceci se comprend bien si l'on examine les différents modèles destinés à la planification et au développement de l'enseignement, où le choix du support s'opère complètement à la fin du processus (Brien et Paquin, 1976).

Les critères relatifs à l'analyse du processus d'apprentissage du didacticiel s'organisent autour des notions suivantes : la démarche pédagogique, les objectifs, l'organisation interne du contenu, la qualité du contenu, l'évaluation des apprentissages et l'individualisation des apprentissages.

Compte tenu que le deuxième chapitre de la présente recherche a déterminé la stratégie pédagogique du simulateur, nous ne reviendrons pas sur ce point. Et comme la démarche suggérée par notre outil est une simulation modélisante par "découverte", les objectifs d'apprentissage ne seront pas présentés à l'étudiant de façon formelle. Ces précisions étant faites, notre réflexion portera uniquement sur les critères relevant de l'organisation interne du contenu, la qualité du contenu, l'évaluation des apprentissages et l'individualisation des apprentissages.

a) L'organisation interne du contenu

Cette organisation concerne la façon dont est présentée la matière :

- la présentation du contenu structurée, claire et logique ;
- le contenu est approprié au programme d'étude visé ;
- l'étendue du contenu est raisonnable ;
- chaque activité est illustrée à l'aide d'exemples ou d'une démonstration ;
- les exercices sont présentés par gradation, du simple au complexe ;
- les modules sont systématiques et séquentiels ;
- les modules ont approximativement la même longueur ;
- les faits sont pertinents ; les modèles sont justes ; les concepts sont adéquats.

De l'ensemble de ces propositions, nous précisons un autre principe qui devra guider notre entreprise. Nous l'énonçons de la façon suivante :

Principe 9 : Développer un contenu respectant une hiérarchie logique, bien articulée, allant du simple au complexe.

b) la qualité du contenu

En ce qui concerne la qualité du contenu, il faut noter qu'elle intervient à deux niveaux. Elle concerne la matière enseignée et la qualité linguistique de la présentation qui en est faite :

- le contenu a une valeur éducative enrichissante ;
- le contenu est exact et d'actualité ;
- le contenu est exempt de tout stéréotype d'ordre racial, ethnique, sexuel et culturel ;
- le contenu n'est pas violent et respecte l'apprenant ;
- le niveau de difficulté tient compte des intentions éducatives ;
- le contenu véhicule une information dans un langage de qualité ;
- la terminologie est précise et assure l'univocité de l'interprétation; le vocabulaire utilisé est approprié à l'apprenant ;
- la ponctuation, l'orthographe, la grammaire, les majuscules et la syntaxe sont corrects, sauf lorsque l'erreur est utilisée comme stratégie pédagogique.

Principe 10 : Le logiciel doit renfermer un contenu ayant une valeur éducative enrichissante, véhiculé par un niveau de langage de qualité.

c) L'évaluation et la gestion des apprentissages

Les critères ayant trait à l'évaluation des apprentissages prennent la forme suivante :

- le didacticiel évalue la performance de l'apprenant ;
- l'apprenant est informé qu'il sera évalué ;
- le didacticiel est doté d'une unité qui gère l'ensemble des apprentissages ;

- le système de gestion emmagasine les réponses et les résultats de l'utilisateur qu'il peut consulter en tout moment ;
- le didacticiel propose une évaluation formative tout au long des activités ;
- le didacticiel suggère une évaluation sommative au terme de chaque module.

De ces suggestions, nous formulons un nouveau principe qui devra nous guider dans l'élaboration de notre simulateur à l'état de prototype :

Principe 11 : Intégrer au logiciel une unité qui se chargera de gérer les travaux des étudiants et d'emmagasiner la trace de leur parcours à travers les différentes sections du logiciel.

La section subséquente est destinée à présenter les critères relatifs à l'individualisation de l'apprentissage.

d) L'individualisation de l'apprentissage

Pour Depover (1990), les critères relatifs à l'individualisation de l'apprentissage ont trait au rythme individuel, à la participation active de l'apprenant, à la correction immédiate et systématique de ses travaux et à l'attention soutenue de l'apprenant. Nous présentons successivement les paramètres appartenant à ces quatre catégories.

Rythme individuel

À l'exception des exercices limités dans le temps, le didacticiel devrait permettre aux apprenants de travailler selon leur propre rythme. Le prototype doit être conçu de manière à laisser toute la latitude à l'utilisateur pour gérer son rythme d'apprentissage à sa convenance, en lui permettant de bénéficier du temps dont il aura besoin pour parcourir tout le didacticiel. Le pilotage par l'apprenant est ainsi favorisé lorsqu'il lui est possible :

- d'avancer ou de reculer dans le logiciel; de revenir au menu principal lorsque c'est nécessaire ;
- de faire une pause lors d'une activité, de conserver l'endroit qu'il a quitté et d'y revenir plus tard sans altérer ses données ;
- de contrôler le déroulement de la présentation des contenus et des révisions, sauf si ces révisions constituent un élément essentiel de la stratégie éducative ;
- de quitter un exercice même s'il n'a pas été complété ;
- d'avoir recours à une option d'aide.

Ces caractéristiques, nous amènent à souligner un autre principe directeur dont nous allons tenir compte lors du développement de notre prototype.

Principe 12 : Le prototype devra être conçu de manière à permettre à l'utilisateur de gérer et de contrôler le pilotage du didacticiel.

Participation active

Pendant les activités, l'apprenant est partie prenante de tous les échanges. Il doit opérer des choix et demander des explications. C'est à lui que s'adressent tous les messages et toutes les questions, et c'est lui seul qui doit y répondre. Cette participation dynamique ne peut être effective que si l'apprenant a la possibilité de :

- contrôler le choix d'un contenu à l'intérieur des menus ;
- choisir la séquence d'apprentissage et choisir différents niveaux de difficulté ;
- sélectionner le nombre d'exercices ou d'exemples ; corriger ses réponses ;
- demander des explications ;
- consulter les consignes autant de fois qu'il le désire ;

- éliminer temporairement les effets sonores, sauf s'ils constituent un élément essentiel dans la stratégie éducative.

Cette participation active est , à son tour, conditionnée par d'autres critères. Elle ne peut être tangible et efficace que lorsque :

- il est clairement indiqué comment y répondre ;
- les consignes sont concises, complètes et faciles à comprendre ;
- les questions sont présentées de façon aléatoire et elles sont appropriées au contenu ;
- les questions sont clairement formulées: courtes et concises ;
- l'analyse des réponses est adéquate ;
- le système peut tolérer plusieurs réponses pour une seule question.

Branchements

Si on considère qu'il est nécessaire d'individualiser l'apprentissage de manière à le rendre plus pertinent, notamment pour éviter à l'apprenant une perte de temps inutilement. Depover (1990) suggère de respecter les critères suivants :

- les branchements doivent se faire vers des activités de plus en plus complexes au fur et à mesure que l'apprenant progresse dans ses apprentissages ;
- construire des branchements qui conduisent l'étudiant aux sections non maîtrisées ;
- planifier de multiples ramifications qui tiennent compte des différences individuelles ;
- prévoir plusieurs branchements à la fin de chaque module ;
- orienter les étudiants entrants d'abord sur des modules non encore maîtrisés ;
- réorienter les étudiants sortants soit vers des modules qui ne sont pas assez intégrés, soit vers des modules de remédiation.

Assistance

- les explications sont complètes et en nombre adéquat ;
- les exemples proposés aident à intégrer facilement les concepts ;
- les exemples sont nombreux et adéquats ;
- des indices sont fournis pour aider l'apprenant à trouver la bonne réponse ;
- une option d'aide est disponible en tout temps pour débloquer les difficultés.

Correction immédiate et systématique.

Pour Depover (1990), Donnay et Romainville (1984) et Mazaïgne (1987), la correction devrait se faire immédiatement et non pas après l'accomplissement de la totalité de la tâche. Pour ces auteurs, le didacticiel doit identifier une erreur dès son apparition évitant ainsi les risques de fixation. Toujours selon ces travaux, il faut inciter l'apprenant à participer à toutes les étapes du processus d'apprentissage et à l'encourager à répondre à toutes les questions. En plus, l'étudiant doit recevoir systématiquement des commentaires qui lui permettent de corriger ses travaux et de juger de la qualité de sa performance.

Rétroactions

- la rétroaction doit être adaptée aux réponses fournies par l'utilisateur ;
- l'apprenant doit avoir plus d'une chance pour répondre à une question ;
- le didacticiel n'interrompt pas son déroulement si l'apprenant ne désire pas corriger son erreur ;
- les rétroactions indiquent pourquoi la réponse est incorrecte, elles sont constructives ;
- les rétroactions évitent les sarcasmes, les réprimandes et elles sont personnalisées ;
- les rétroactions aident l'apprenant à atteindre les objectifs de la leçon.

Comme on peut le constater, les critères présentés jusqu'ici permettent de mieux saisir la teneur des descripteurs employés pour déterminer la qualité d'un logiciel éducatif. Cependant, ces critères demeurent généraux et hétéroclites. La majorité d'entre eux s'appliquerait à n'importe quel type de logiciel éducatif.

Komoski (1987), souligne qu'il est indispensable d'ajouter aux critères généraux d'autres descripteurs plus spécifiques qui déterminent le type de logiciel en cours de développement. Il écrit à ce propos :

"Il est important que les évaluateurs de logiciels éducatifs dépassent le stade où l'on pense que tous les logiciels peuvent être évalués au moyen d'un ensemble de critères génériques. L'heure est venue d'établir des critères spécifiques pour juger de la qualité de chaque type de logiciels. Nombreux sont ceux qui, conscients de cette nécessité, ont néanmoins continué à utiliser des critères génériques en raison des contraintes de temps et du flot permanent de logiciels à évaluer." (p. 90)

Ces propos nous invitent donc à identifier des descripteurs spécifiques qui caractérisent les simulateurs assistés par ordinateur afin de compléter la liste des critères généraux.

3.3.3.4. Principes spécifiques aux simulateurs interactifs

Afin d'amorcer l'énoncé des principes spécifiques qui déterminent le profil du simulateur à l'état de prototype, nous avons consulté les écrits qui ont établi une classification des logiciels conçus à des fins pédagogiques et destinés à des matières scientifiques. Blondel et Schwob (1985) regroupent sous trois catégories principales les produits élaborés dans le cadre de l'enseignement de ces disciplines, plus particulièrement pour la physique, la chimie et la biologie. Ces trois groupes sont :

- 1- les exercices d'entraînement ou d'enseignement tutoriel ;
- 2- les programmes de calcul et de traitement de mesures ;
- 3- les simulateurs.

À cette typologie, qui est loin d'être complète, nous ajoutons la robotique pédagogique qui utilise l'ordinateur en mode conversationnel, en mode graphique et en mode de contrôle de procédés. Ce groupe, intitulé appareteur-robot (Nonnon, 1986), est utilisé dans le contrôle d'expériences asservis par ordinateur, notamment dans les laboratoires de physique.

Pour les besoins de cette étude, c'est la troisième catégorie qui fut retenue puisque nous développons un simulateur interactif. Dans l'enseignement de la biologie, les simulations assistées par ordinateur devraient proposer aux élèves des activités dont l'objectif est la mise en évidence des facteurs qui interviennent dans les phénomènes simulés, l'acquisition de nouvelles connaissances sur ces phénomènes, la découverte des modèles sous-jacents. Les phases du raisonnement expérimental devraient être privilégiées dans ces activités.

Rappelons ici que notre simulateur devra aussi procéder de façon modélisante ce qui est peu banal pour un simulateur puisqu'en principe un simulateur connaît déjà la théorie et les lois permettant de prédire, à partir de certaines conditions, le phénomène étudié. Ici, nous voulons permettre à l'étudiant de soulever des questions, d'émettre des hypothèses et d'expérimenter pour formuler des lois, et d'aboutir à une synthèse explicative de ces lois.

Ainsi, la plupart des simulateurs conçus dans le cadre d'un enseignement scientifique, malgré la diversité des thèmes qu'ils abordent et les démarches méthodologiques qu'ils suggèrent, ont en commun des objectifs fondamentaux relatifs à la méthode expérimentale elle-même et non pas à l'acquisition des connaissances. Leur but n'est pas de transmettre directement des connaissances sous forme de lois, de principes ou de formules mais d'inciter l'apprenant à raisonner et à mettre en valeur la démarche modélisante, laquelle est fondamentale pour développer de nouveaux schèmes opératoires et une pensée logique. Ce fait est bien souligné par Blondel et Schwob (1985). Ces auteurs, nous informent de ce qui suit :

"Pour les logiciels de simulation, il faut rappeler que l'objectif méthodologique d'amener l'élève à une démarche cohérente dans une étude expérimentale est en général plus important que la connaissance du phénomène lui-même, quelquefois relégué au second plan." (p. 7).

Dans le cadre plus spécifique de l'intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des sciences, notamment en biologie, Baveux et *al.*, (1987) ainsi que Lebrun (1991), nous proposons une série de suggestions. Ils soulignent que les concepteurs de logiciels éducatifs doivent bâtir leur produit en tenant compte des points suivants : une approche pédagogique raisonnée tenant compte de la communication fructueuse de l'ordinateur ; de la simplification du phénomène simulé ; de l'uniformité dans la représentation du phénomène et de la diversité des activités. Afin de mieux circonscrire ces concepts, nous avons analysé leur sens afin de vérifier s'ils peuvent être incorporés à notre devis conceptuel.

3.3.3.4.1. Approche pédagogique raisonnée

Pour Baveux et *al.*, (1987) et Lebrun (1991), l'activité des élèves doit consister à réaliser des expériences simulées et à analyser les résultats générés par la simulation. L'observation des faits, l'identification des variables, la recherche d'informations complémentaires doivent intervenir dès le départ de la simulation et tout au long de celle-ci. Vu que cette recommandation trouve son fondement dans l'approche pédagogique que nous projetons d'articuler à notre simulateur, nous l'avons retenu en spécifiant un nouveau principe directeur. Celui-ci s'écrit de la manière suivante :

Principe 13 : Créer un simulateur interactif en génétique favorisant un apprentissage de type inductif avec droit à l'erreur et où l'utilisateur peut mener des expériences à volonté.

En optant pour ce principe, nous sommes conscient qu'une simulation par ordinateur qui tente de représenter le phénomène de la transmission des caractères héréditaires dans sa globalité ne peut être que complexe. Une telle simulation respecterait difficilement le critère de la simplification. Notre tâche ne se limitera pas seulement à choisir quels éléments seront retenus et lesquels seront omis dans le phénomène simulé, mais nous sommes aussi interpellé à décider comment ces éléments vont être représentés et la manière avec laquelle ils vont interagir. Dans les écrits, ces idées sont usuellement regroupées sous le terme générique de fidélité/complexité de la simulation (Loiselle, 1987) ou de précision dans la représentation (Bryant et Coote, 1980 ; Caradant, 1990).

3.3.3.4.2. Principe de Complexité/simplicité du phénomène représenté

Caradant (1990) souligne que les simulateurs sont souvent estimés en fonction de leur fidélité pour représenter le phénomène réel dans toute sa globalité, alors que les simulations en éducation sont plutôt évaluées à partir de leurs aptitudes à favoriser l'apprentissage. Pour cet auteur, le niveau de fidélité ne devrait pas constituer un critère déterminant pour évaluer la qualité de ce genre de logiciel. L'O.C.D.E (1989) note, par ailleurs, que les simulateurs pédagogiques existants sont généralement complexes et qu'au lieu de simplifier le phénomène pour permettre une meilleure intégration des concepts, ils ne font que créer la confusion chez les utilisateurs. Des simplifications, des exagérations, des illusions ou des disproportions du phénomène, selon Caradant (1990), peuvent être légitimes pour faciliter l'apprentissage.

Ce principe a mérité notre attention, puisque le phénomène de la transmission des caractères héréditaires, en apparence simple, met en jeu divers facteurs. Donc, selon ce principe, une simulation construite à partir d'un modèle représentant le phénomène dans sa globalité pourrait échapper au contrôle de la simplification et, par conséquent, peut noyer le raisonnement des utilisateurs ce qui les empêcheraient de distinguer entre ce qui est essentiel et ce qui ne l'est pas.

En génétique, les facteurs sont multiples, liés et interpénétrables. L'apparition d'un caractère héréditaire dépend non seulement du code génétique stocké dans les chromosomes parentaux, mais aussi d'autres facteurs extrinsèques tropiques⁵, comme le régime alimentaire, l'exposition à des radiations solaires fortes ou à la consommation de médicaments. Pour simplifier le phénomène de la transmission des caractères héréditaires, nous avons limité les effets uniquement au patrimoine héréditaire porté par les chromosomes. Ces structures, présentes dans le noyau des cellules du corps, contiennent et transmettent l'information génétique des parents à leurs descendances. Chez l'homme, par exemple, chaque cellule contient 46 chromosomes (23 paires de chromosomes) ; un lot provient de la mère et l'autre lot du père. Une paire parmi les 23 détermine le sexe des nouveau-nés.

⁵- Le terme "tropisme" se définit comme étant une réaction causée par des agents physiques ou chimiques. *Sciences et Vie*, Juillet 1995, pp : 12-13)

Pour faciliter chez l'apprenant l'identification des facteurs mis en jeu, la formulation d'hypothèses, la vérification de leurs prédictions, il importe de proposer une représentation suffisamment simpliste. L'étudiant peut manipuler et contrôler les facteurs aisément sans difficultés majeures. C'est pourquoi le critère de la simplification a été retenu pour les fins de notre travail. Nous formulons un autre principe directeur de la façon suivante :

Principe 14 : Construire un simulateur basé sur un modèle simplifié représentant le phénomène de la transmission des caractères héréditaires.

Un autre principe, d'une importance fondamentale que le précédent est souligné dans divers travaux (Depover, 1990 ; Gerard et Roegiers, 1994 ; Lebrun, 1991 ; Loïselle, 1987). Ce principe est lié à l'uniformité du phénomène simulé, ou ce que certains auteurs, comme Barthet (1988), appellent l'homogénéité dans la construction du simulateur.

3.3.3.4.3. Principe de l'uniformité dans la représentation du phénomène

Cet énoncé fait état de la cohérence d'un simulateur. Est-il nécessaire de construire un simulateur qui comporte des conventions uniformes dans la représentation du phénomène et le mode de fonctionnement ou bien doit-on privilégier des conventions variées adaptées aux situations particulières ?

Selon Maigne (1987) et Depover (1990), il est essentiel de faciliter l'utilisation de l'environnement par l'apprenant. Pour eux, il convient de conférer au logiciel un maximum de transparence pour permettre à l'apprenant d'être autonome et l'inciter à la participation active lors de ses manipulations.

La transparence d'un simulateur, selon ces auteurs, se traduit par l'uniformisation des conventions. Cette ergonomie est appréciable pour doter le didacticiel d'une représentation simplifiée du phénomène et permet, d'autre part, à l'utilisateur d'anticiper et d'interpréter les diverses situations présentées par le simulateur. Afin de réduire les difficultés inhérentes à la simulation, les menus et les données seront affichés et présentés en utilisant des conventions uniformes. D'où le principe directeur suivant :

Principe 15 : Développer un logiciel de simulation où les conventions seront uniformes quant à la représentation des symboles et les modes d'interaction.

3.3.3.4.4. Principe de la diversification des activités

Cette section traite du type de logiciel à concevoir. Faut-il se limiter à des activités de simulation pures et simples, sans aucun autre but explicite, ou faut-il intégrer à la simulation d'autres activités ?

Des études, comme celles de Barette et Regnault (1992), de Hervé (1993) et de Jacobsen (1987), mettent en évidence l'intérêt des étudiants à travailler sur des situations variées lors des activités assistées par ordinateur. Ces études suggèrent d'associer au phénomène simulé soit des jeux, soit des exercices ou des problèmes à résoudre. Pour Barette et Regnault (1992, p. 24), les connaissances procédurales mises en oeuvre dans la résolution de problèmes ce sont des connaissances dynamiques. Elles correspondent au comment faire et non pas au quoi faire. Pour cet auteur, l'intégration d'activités de résolution de problèmes à la simulation permet à l'utilisateur de relever des défis et de soutenir son intérêt. En premier lieu, la simulation permet, d'établir des liens entre les paramètres en cause et de constater l'action des uns sur les autres, ensuite la résolution de problèmes l'amène à appliquer et à analyser les relations que la simulation lui a permis de découvrir. Dans cet ordre d'idées, nous avons jugé utile de diversifier les activités en incorporant la résolution de problèmes à la simulation, ce qui nous conduit à préciser le principe directeur suivant qui caractérise notre propre système :

Principe 16 : Développer un simulateur incorporant à la fois la modélisation du phénomène de la transmission des caractères héréditaires et la résolution de problèmes en génétique.

Nous pensons que l'un des points forts de notre outil est l'intégration d'exercices et de problèmes dans l'approche pédagogique proposée. Aussi, nous semblait-il important de préciser le moment où ils seront soumis à l'utilisateur et la façon dont ils vont lui être proposés. Est-il nécessaire d'intégrer au logiciel une unité qui gèrera le nombre d'exercices

qui seront proposés aux élève et d'offrir à chacun d'eux une évaluation personnalisée et sommative pour, éventuellement, empêcher le plagiat entre les élèves et respecter les conditions d'un examen surveillé.

Pour atteindre cet objectif, nous prévoyons incorporer à notre simulateur une unité qui sera intitulée "*Exercices et problèmes*". Cette unité comprendra une centaine (100) de problèmes appartenant aux cinq modules du logiciel. Ce qui correspond à environ une vingtaine d'exercices par module. Nous allons par ailleurs inclure, au programme informatique, une procédure qui se chargera à la fin de chaque module de tirer au hasard 3 problèmes par module. L'étudiant qui sera placé en situation d'évaluation sommative ne pourra consulter ni les conclusions auxquelles il aura aboutit lors de ses expériences simulées ni les notes de cours placées dans une autre unité qui sera intitulée "concepts". Il disposera uniquement d'un énoncé, d'une solution partielle constituée d'un texte troué de vides et d'une série de concepts servant à compléter les espaces de la solution partielle. Lorsque l'étudiant complétera la solution, il réclamera à l'ordinateur la correction. Le système indiquera les erreurs à l'usager que celui-ci doit corriger jusqu'à ce qu'il obtienne une solution satisfaisante.

Cette façon de concevoir l'évaluation sommative, nous a amené à formuler un autre principe directeur qui caractérise le profil du prototype que nous projetons de construire :

Principe 17 : Développer un simulateur qui offre, à la fois, une évaluation personnalisée et sommative empêchant le plagiat entre les élèves et respectant les conditions d'un examen surveillé.

Dans les sections précédentes, nous avons déterminé des critères généraux et certains descripteurs spécifiques qui définissent le profil du simulateur à l'état de prototype. Bien que cette liste ne soit pas complète et exhaustive, elle nous permet toutefois de construire la plateforme à partir de laquelle nous conduirons l'élaboration de notre simulateur à l'état de prototype.

Comme mentionné précédemment, même si certains travaux (Donnay et Romainville, 1984 ; Jolicoeur et Berger, 1986 ; Mataigne, 1985, 1987) incluent les documents d'accompa-

gnement parmi les ressources matérielles, nous leur réservons une section à part. Nous avons également indiqué que nous incluons l'encadrement humain à ces guides d'utilisation et nous intitulons le tout par "ressources à intégrer au simulateur".

3.3.4. Ressources à intégrer au simulateur

Les principes qui suivent portent sur les ressources humaines et matérielles à mettre à la disposition des usagers lors de l'utilisation d'un logiciel de simulation. La présence d'une personne ressource est-elle nécessaire au moment où les étudiants travaillent avec le système? Faut-il mettre à leur disposition des documents et des guides qui vont leur permettre de s'orienter en cas de problèmes ?

3.3.4.1. Ressource humaine : encadrement des étudiants

Compte tenu de la diversité des problèmes qui peuvent surgir à tout moment lors des activités proposées par le simulateur, certaines études (Bégin et Leclerc, 1985 ; Loïselle, 1987) suggèrent la présence d'une personne ressource pour répondre aux questions soulevées par les étudiants. Aussi, lors de la mise à l'essai empirique, nous prévoyons mettre à la disposition des étudiants une personne susceptible de leur apporter l'aide nécessaire. Le sixième chapitre (chapitre 6) évoque en détails le rôle de cette personne ressource et les directives qui lui seront assignées pour gérer et encadrer le travail des étudiants. Pour le moment nous formulons le principe suivant :

Principe 18 : Mettre à la disposition des étudiants une personne-ressource pendant l'utilisation du simulateur interactif assisté par ordinateur.

Comme le nombre des élèves dans une classe est souvent assez élevé, la personne ressource peut difficilement répondre aux besoins individuels de chacun. Par conséquent l'emploi d'une documentation proposant des points de repère sur la façon de lancer le didacticiel, sur la manière de l'utiliser et sur la démarche suggérée s'avère indispensable. Ce qui, du même coup, va alléger la tâche de l'animateur.

3.3.4.2. Documents d'accompagnement

Si la plupart des travaux insistent sur la nécessité de développer une documentation d'accompagnement pour les logiciels éducatifs (Bégin et Leclerc, 1985 ; Loiselle, 1987; Mataigne, 1985), ils ne fournissent que des informations fragmentaires sur leur contenu. Ceci se comprend bien, puisque une documentation destinée à soutenir l'utilisation d'un tutoriel ou un exerciceur ne serait pas identique à celle qui est conçue pour un simulateur. Ces auteurs s'entendent par contre sur le fait de produire au moins deux (2) types de documents : ceux pour l'étudiant et ceux destinés à l'enseignant. Mataigne (1985) souligne que le contenu de la documentation ne devra pas être le même pour ces deux groupes.

À la lumière de ce qui précède nous avons mis au point trois sortes de documents: le guide d'utilisation pour le professeur, celui de l'étudiant et le cahier des activités de l'élève. Tous ces documents seront annexés au présent travail après leur utilisation lors des deux mises à l'essai du didacticiel prévues dans le cadre du sixième chapitre (chapitre 6).

Afin d'identifier les principes qui nous permettent une conception adéquate de ces documents, nous avons analysé les fonctions essentielles attribuées à ces manuels. Ainsi, en puisant dans diverses recherches (Mataigne, 1985 ; Hervé, 1993 ; Depover, 1990 ; Lebrun, 1991) et, surtout, dans le travail de Loiselle (1987), compte tenu qu'il a développé un simulateur interactif en physique. Selon ces auteurs, la documentation destinée à un simulateur assisté par ordinateur doit remplir au moins trois (3) fonctions fondamentales. Ces fonctions ne sont pas toujours faciles à distinguer puisqu'elles sont complémentaires. D'ailleurs les chercheurs tendent à les mêler et ne font pas une démarcation nette entre chacune d'elles. Ces trois fonctions sont : la description, l'apprentissage et l'aide.

Description

Pour l'étudiant, il est primordial de lui indiquer les préalables qu'il doit posséder avant d'aborder de nouvelles notions, de même que les travaux et les activités à faire.

Pour l'enseignant, en plus des indications formulées pour l'étudiant, nous ajoutons à sa documentation les aspects suivants :

- un résumé de l'approche pédagogique sur laquelle s'appuie le logiciel ;
- les étapes à suivre pour installer le logiciel sur l'ordinateur ;
- le fonctionnement du logiciel quant aux liens entre ses différentes sections ainsi qu'au niveau des menus et de la navigation ;
- les particularités et les limites du logiciel tant sur le plan technique que pédagogique ;
- la fiche signalétique du logiciel, présentant le concepteur, l'année de conception, la population à qui il s'adresse, l'équipement de base et les périphériques indispensables au bon fonctionnement du logiciel, les personnes à contacter en cas de problèmes majeurs ;
- la durée prévue lors de la première séance pour permettre aux étudiants de se familiariser avec l'outil ;
- des propositions concernant les outils supplémentaires pouvant aider l'enseignant à améliorer l'intégration du logiciel dans son enseignement ;
- l'évaluation suggérée par le logiciel, les critères de réussite et la façon d'interpréter les résultats ;
- l'organisation du groupe-classe, la gestion de l'horaire et la gestion du travail des élèves pour faciliter la réalisation des activités ;
- les modifications possibles des procédures informatiques pour adapter le logiciel à des situations contextuelles spécifiques de la classe.

Ces prémisses nous ont amené à formuler un nouveau principe directeur associé, cette fois-ci, à la documentation d'accompagnement :

principe 19 : La documentation doit décrire clairement ce que fait le logiciel et la façon dont il le fait, tant pour l'enseignant que pour l'élève.

l'apprentissage:

La dimension apprentissage devrait, selon Depover (1990), Donnay et Romainville (1984), Mataigne (1985) et Fortin (1990), permettre à l'utilisateur de savoir comment exploiter toutes les possibilités du logiciel.

Pour l'étudiant, on a distingué les apprentissages d'ordre technique et ceux ayant une dimension pédagogique. Dans le premier, nous donnons à l'étudiant des consignes qui lui permettent de manipuler adéquatement le logiciel à l'aide d'explications. Cette partie a pour but de rendre le logiciel le plus transparent possible, afin d'éviter aux utilisateurs des réactions négatives découlant de manipulations erronées du logiciel.

La dimension pédagogique se subdivise en deux sections. La première est consacrée aux expériences simulées, alors que la seconde propose des activités complémentaires pertinentes, comme des exercices ou des problèmes à résoudre. Dans notre cas, nous avons conçu un document, intitulé : cahier des activités de l'élève (annexe 5) qui contient une trentaine d'activités sous forme d'exercices et de problèmes en génétique.

La partie apprentissage destinée à l'enseignant suggère des modalités d'utilisation du logiciel selon les situations pédagogiques choisies. Nous avons jugé indispensable de lui signaler que la simulation par ordinateur ne devrait pas remplacer systématiquement les laboratoires réels, mais qu'elle doit les compléter. Cette partie souligne aussi des façons d'assurer le suivi de l'utilisation du logiciel et des manières de modifier le programme informatique pour l'adapter aux besoins de l'enseignant. En somme, nous lui proposons une série d'avis expliquant les divers modes d'insertion du simulateur dans la pratique pédagogique.

Suite à ces considérations, nous formulons un autre principe directeur, en rapport avec la documentation d'accompagnement, de la façon suivante :

principe 20 : La documentation doit intégrer des activités d'apprentissage pour l'élève et suggérer à l'enseignant des pistes d'utilisation du logiciel.

l'aide

La documentation devrait selon Mataigne (1985) remplir aussi une fonction d'aide. C'est probablement le rôle le plus dévolue aux documents d'accompagnement. D'où la nécessité de fournir à l'utilisateur une assistance pour soutenir sa progression et son apprentissage lors de l'utilisation du simulateur.

Pour l'étudiant, cette assistance peut être soit d'ordre pédagogique ou fonctionnelle. C'est surtout ce deuxième type que nous avons mis en évidence dans la documentation de l'étudiant. Cette aide est facile à repérer par l'utilisateur vu qu'elle est encadrée et écrite à l'aide d'attributs typographiques bien distincts. Elle indique à l'élève quoi faire en cas de problèmes.

La fonction "aide", dans le document de l'enseignant, est identique à celle de l'élève. Nous avons ajouté, pour le professeur, des informations supplémentaires concernant les ressources à consulter en cas de problèmes majeurs. Nous lui signalons entre autres, des lectures et des guides pour en savoir plus sur le fonctionnement du simulateur et sur le programme qui gère toutes les procédures informatiques.

En tenant compte de ces considérations, nous formulons un autre principe directeur en rapport avec la documentation d'accompagnement, qui est :

Principe 21 : La documentation doit fournir une aide technique et fonctionnelle à l'élève et à l'enseignant.
--

Si les principes abordés jusqu'ici tiennent compte de l'aspect fond, il n'en demeure pas moins que la documentation devra également respecter des critères ayant trait à la forme, comme l'organisation et la présentation des manuels. Mataigne (1985), Loïselle (1987), Depover (1990) et Fortin (1990), nous livrent des propositions à ce sujet, que nous avons adapté à notre propre matériel.

Nous avons tenu à ce que la documentation soit organisée du général au particulier. Cette hiérarchie permet aux utilisateurs, selon ces auteurs d'intégrer rapidement les manipulations courantes et les opérations répétitives avant de s'arrêter sur les détails. Nous avons aussi distingué l'aspect pédagogique de l'aspect technique. Pour Fortin (1990) et Mataigne (1985), les principes d'organisation doivent être présentés dans toute la documentation et concernés les trois grandes fonctions. Les grilles d'évaluation de didacticiels et des documents d'accompagnement insistent aussi sur ce fait (Donnay et Romainville, 1984). Les critères de présentation font souvent la différence entre une bonne et une mauvaise documentation. Parmi ces critères, nous trouvons :

- le contenu doit être structuré et logique ;
- les textes, les schémas et le graphisme doivent être facilement lisibles ;
- la mise en page doit favoriser une bonne intégration du contenu ;
- les informations doivent être claires et précises sur le plan linguistique et grammatical.

Ces caractéristiques, nous ont permis de récolter un dernier principe directeur ayant trait à la présentation et l'organisation de la documentation d'accompagnement. Nous l'explicitons de la façon suivante :

Principe 22 : L'organisation et la présentation de la documentation doivent être structurées, claires et appropriées.

Nous avons spécifié jusqu'ici les principes directeurs qui constituent la toile de fond à partir de laquelle sera élaboré le simulateur à l'état de prototype et la documentation qui lui est afférente. Sur les 22 descripteurs identifiés, nous avons isolé 12 principes généraux, 5 spécifiques et 5 appartenant aux ressources à intégrer au simulateur (encadrement humain et documents d'accompagnement). Le chapitre subséquent présentera le modèle d'action qui sera articulé à notre outil.



CHAPITRE 4
LE MODÈLE D'ACTION

Ce chapitre correspond, selon l'ordre des étapes d'élaboration suggérées par le modèle de développement de Nonnon (1986), à l'opérationnalisation de l'idée, autrement dit à la mise en acte des principes énoncés dans le chapitre précédent. De façon plus concrète, il s'agit de préciser ce que notre simulateur, une fois construit, permettra à l'étudiant d'accomplir comme apprentissage. Il convient de souligner, tout de suite, que le modèle d'action reposera non seulement sur l'utilisation du simulateur interactif, mais qu'il sera également soutenu par des documents d'accompagnement, notamment par un guide d'utilisation et un cahier d'activités pour l'étudiant de même que par une série de consignes destinées à la personne-ressource qui encadrera les séances de la mise à l'essai empirique.

Le modèle d'action s'articule autour de deux orientations. La première tire ses assises des considérations théoriques d'ordre général exposées dans le deuxième chapitre du présent travail ; l'autre est plus spécifique, elle se nourrit directement du paradigme de la "Lunette cognitive" de Nonnon (1986) et du modèle de la résolution de problèmes suggéré par Gombert et Fayol (1988). Les prochaines sections présenteront brièvement les fondements de chacune de ces deux orientations afin de montrer comment elles seront articulées au modèle d'action.

4.1. Orientation générale du modèle d'action

Comme indiqué précédemment, le modèle d'action s'inspire des considérations théoriques interactionniste et constructiviste évoquées dans la première partie du cadre théorique (chapitre 2). En effet, au terme de cette première partie, nous avons exposé la toile de fond relative à l'approche pédagogique qui devra être articulée à notre système. Cette approche, rappelons-le, se dessine dans le sillon du constructivisme et nous lui avons assigné le label suivant : constructivisme piagétien, apprentissage par la découverte de Bruner, soutien pédagogique à l'aide de supports technologiques de Chadwick et apprentissage hiérarchique selon Gagné. Nous avons par ailleurs noté que, même si on avait opté pour cette orientation, nous ne la considérons pas comme exclusive et unique pour l'enseignement des sciences. C'est pourquoi notre approche fut nuancée et complétée par d'autres considérations plus spécifiques ayant trait à la didactique des sciences expérimentales et à l'utilisation de la simulation interactive par ordinateur dans l'enseignement des sciences. Il convient de rappeler les fondements de cette seconde orientation dans la prochaine section.

4.2. Orientation spécifique du modèle d'action

Le modèle d'action s'appuie sur les nouvelles orientations en didactique des sciences dont les principes furent également exposés dans la deuxième partie du second chapitre. D'une façon plus précise, le modèle d'action tire sa substance du concept de la "Lunette cognitive", conçu et développé par Nonnon (1986), qui impose à l'élève une démarche inductive en le faisant passer progressivement de la réalité physique à une conceptualisation théorique plus générale. Son objectif est d'exploiter pleinement l'outil informatique en présentant simultanément sur l'écran, en temps réel, l'expérimentation concrète du phénomène et sa représentation symbolique sous sa forme abstraite (graphique et algébrique).

Le concept de la "Lunette cognitive" offre à l'étudiant un environnement propice pour s'engager dans une démarche heuristique de résolution de problèmes en sciences expérimentales. Cette démarche axée sur la formulation d'hypothèses, la construction d'un schème de contrôle des variables, l'expérimentation concrète sur un phénomène réel et la conclusion qui s'achève par l'énoncé d'une loi, d'une théorie ou d'un modèle explicatif du phénomène.

L'élève a la possibilité d'observer, sous forme graphique, les données de son expérience ; il appréhende ainsi le phénomène d'une façon sensorielle, plus globale, ce qui favorise chez lui l'acquisition de représentations plus structurées, plus cohérentes, plus rigoureuses pour organiser sa démarche d'apprentissage en sciences.

Un des objectifs de la "Lunette cognitive", et non des moindres, c'est qu'il vise à faire acquérir à l'apprenant une intégration du phénomène étudié par la visualisation simultanée de l'action sous sa forme concrète ou iconique (figurative) et sous sa forme symbolique ou abstraite (graphique). L'application de ce paradigme a fait ses preuves dans de nombreuses situations expérimentales scolaires, notamment auprès de plusieurs groupes d'élèves du niveau secondaire (Girouard, 1995). Son utilisation fut couronnée de succès, comme en témoignent divers travaux (Desautels, 1995 ; Hudon, 1994 ; Hervé, 1993 ; Nonnon, 1986).

4.3. Application de la "Lunette cognitive" au modèle d'action

Notre but est d'amener les étudiants à intégrer les lois probabilistes de la génétique mendélienne par le biais de la démarche inductive en exploitant et en stimulant au maximum leurs canaux sensoriels par le recours à l'imagerie et à la simulation interactive. Cette exploitation devra se manifester tout au long de trois (3) étapes successives, que nous présentons dans les sections suivantes.

a) Lors de la première étape, et grâce à l'interaction élève-simulateur, l'étudiant sera placé dans une situation d'exploration, de manipulation et d'expérimentation. Il sera appelé à sélectionner les variables, à contrôler les unes et à faire varier les autres, à planifier sa stratégie expérimentale, à anticiper mentalement l'action des unes sur les autres, à prédire le ou les effet(s) escompté(s), c'est-à-dire à déterminer les proportions phénotypiques probables issues d'un croisement donné de deux parents, à comparer ses prédictions aux résultats observés, à réévaluer sa stratégie expérimentale, son hypothèse et, au besoin, à relancer une nouvelle expérimentation. La résultante de cette interaction devra faire converger le raisonnement de l'apprenant vers une source de connaissance et de construction opératoire.

b) Dans une seconde phase, l'utilisateur sera invité à vérifier ses prédictions en les confrontant aux diverses observations en rapport avec les génotypes parentaux ayant conduit aux caractères héréditaires (phénotypes) des rejetons constatés dans la phase précédente. Cette opération le conduira, inévitablement, à identifier les multiples combinaisons possibles de la rencontre des gamètes parentaux qui portent le(s) gène(s) gouvernant le caractère héréditaire étudié. C'est là où l'étudiant aura à faire un rapprochement entre les données probabilistes des phénotypes découlant de l'expérimentation et les résultats qu'il aurait anticipés (phase a). Il sera aussi appelé à faire le lien entre les proportions phénotypiques de la descendance et les génotypes des parents qui ont généré les données constatées (phase b).

c) À partir des résultats expérimentaux et de l'identification des gènes parentaux dans les deux phases précédentes, l'élève devra dégager une loi, c'est la synthèse explicative de la variabilité expérimentale des variables. Cette synthèse constituera la troisième étape dans l'approche du modèle d'action. Elle devra permettre à l'élève de formuler une loi probabiliste expliquant la variabilité qui caractérise le phénomène de la transmission des caractères héréditaires chez les êtres vivants.

Dans cet environnement, la réalité expérimentale sera simulée virtuellement de façon figurative et modélisée sous forme symbolique de manière à solliciter et à activer les récepteurs sensoriels de l'apprenant. D'abord, elle sera simulée de façon figurative, puisque l'étudiant pourra observer directement et instantanément sur l'écran les rejets du croisement sous forme imagée. L'expérimentation sera ensuite modélisée sous forme symbolique, puisque la représentation iconique se traduira immédiatement en données statistiques probabilistes qui, à leur tour, seront exprimées en mode graphique.

Afin de respecter le principe de la "Lunette cognitive", ces deux modes de représentations se dérouleront de façon concomitante à l'écran, devant les yeux de l'apprenant, de manière à lui permettre de décoder l'information liée au phénomène étudié sous ses deux formes : concrète et abstraite et vice versa. Cette manière de concevoir le modèle d'action, conduira l'élève à s'équiper d'outils cognitifs solides pour bâtir ses propres représentations et de le doter de ponts cognitifs lui facilitant le passage indispensable de l'observation concrète du phénomène à sa représentation abstraite.

Le modèle d'action pour l'acquisition et l'intégration de nouvelles connaissances en génétique et de ses lois probabilistes repose, comme nous venons de le mentionner, sur une représentation à la fois iconique et symbolique. Ces deux représentations seront incorporées au modèle d'action pour servir de catalyseurs puissants et pour provoquer chez l'étudiant l'acquisition de la démarche inductive et le schème de contrôle des variables. Afin d'éviter de noyer la réflexion de l'élève dans un raisonnement infructueux, où ses énergies cognitives seront submergées par des variables inutiles, comme c'est souvent le cas dans les expérimentations menées dans les laboratoires conventionnels, avec ce modèle d'action le raisonnement de l'utilisateur sera essentiellement centré sur les variables principales et les relations qui existent entre elles.

Comme nous venons de le mentionner, notre système vise à faire acquérir aux étudiants une modélisation selon le principe de la "Lunette cognitive" de Nonnon (1986). Ce principe se traduira par l'utilisation de deux types de représentations pour décoder l'information :

- un système de représentation iconique (imagée) montrant les expériences simulées et qui se révéleront instantanément à l'écran. Ces expériences simulées, difficilement réalisables en classe dans le même laps de temps, conduiront l'élève, par une réflexion autonome et progressive, à une approche dynamique pour appréhender le phénomène ;
- un système de représentation symbolique procédant de manière abstraite et qui se manifestera, à la fois, par des données statistiques et par un graphique en bâtonnets ou histogramme de fréquences.

Du point de vue didactique la réflexion de l'étudiant sera continuellement interpellée grâce à son interaction permanente qu'il établira avec l'ordinateur (sujet-objet), comme c'est le cas dans un laboratoire réel.

Du point de vue cognitif, l'intégration des lois probabilistes de Mendel devrait être plus aisée grâce à la représentation concomitante du phénomène sous sa forme iconique et sous sa forme symbolique, comme illustré par la figure de la page suivante (figure 18).

Du point de vue schème de contrôle des variables, c'est l'élève qui variera un facteur à la fois, tout en maintenant les autres constants. Cette étape devra, en principe, servir de détonateur pour amorcer les autres phases de la démarche inductive, car la mise en rapport des variables débouchera tout naturellement sur des anticipations ; puis sur la planification de l'expérimentation pour "voir", pour apprivoiser le phénomène et pour confronter les résultats obtenus aux résultats escomptés, avant qu'une loi ne puisse être suggérée efficacement.

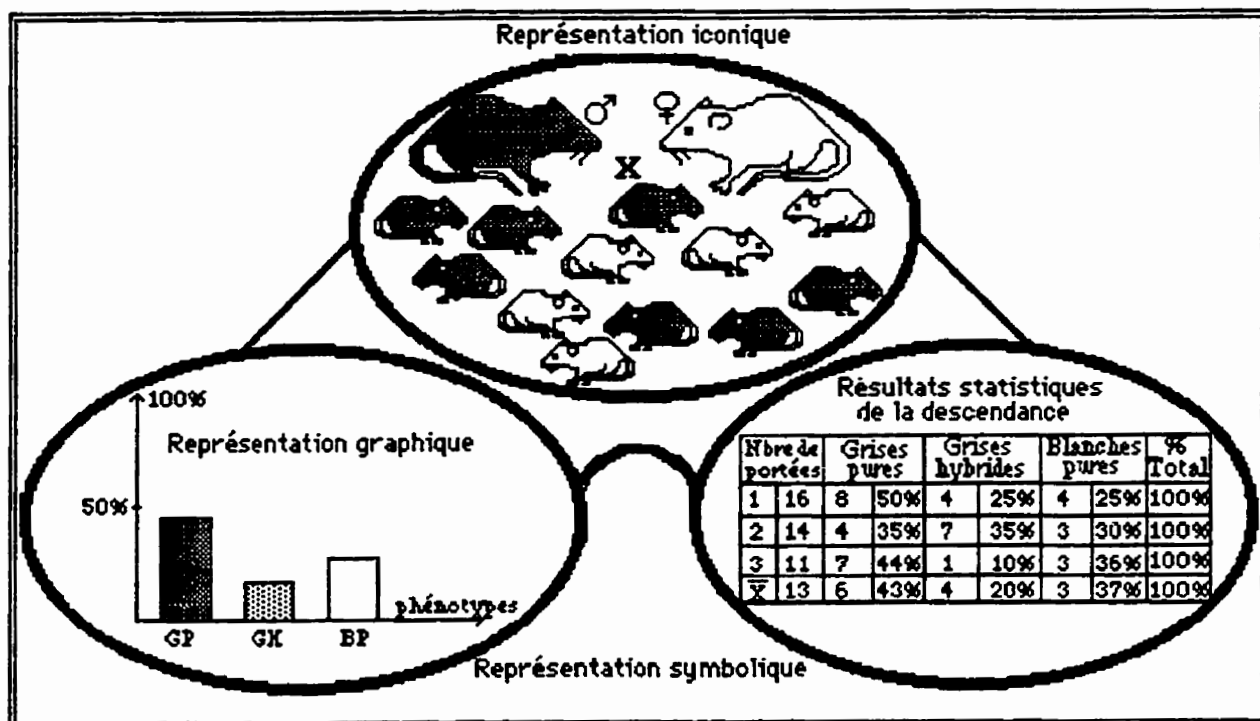


Figure 18 : Application de la "Lunette cognitive" au modèle d'action

Vu que notre simulateur réunira à la fois des expériences simulées et un générateur de problèmes et d'exercices, le scénario du modèle d'action s'appuie également sur les travaux de Gombert et Fayol (1988), plus particulièrement sur leur modèle de résolution de problèmes dont nous avons présenté les séquences dans la troisième partie du second chapitre. Leur modèle incorpore un système d'auto-contrôle dans le processus de la résolution de problèmes et il met en évidence une symbiose et une complémentarité entre les deux approches fondamentales en sciences, à savoir l'induction et la déduction. Notre modèle d'action intégrera ces deux approches.

Dans le modèle d'action, l'induction (donc la modélisation) précédera, en tout moment, l'approche déductive (donc la simulation). En d'autres termes, l'acquisition des lois devra se faire conformément à la méthode expérimentale, par intégration des diverses propositions confirmées successivement par l'expérimentation. Voyons comment ces deux approches seront incorporées au modèle d'action et comment seront-elles exploitées par l'étudiant.

Pendant la phase inductive, l'élève élaborera une loi à partir d'une série d'observations découlant de ses manipulations (croisements entre deux parents, ou un descendant et l'un des deux géniteurs, ou croisements entre deux descendants). Dans tous les cas, c'est l'élève qui choisira le type de croisement à réaliser. Après ce choix, il sera amené à prédire les proportions phénotypiques des rejets qui seront issus du croisement sélectionné. Ensuite, il pourra planifier et exécuter son expérimentation, sans aucune contrainte de temps ni aucune inquiétude pour altérer le matériel biologique. Il pourra refaire autant de fois qu'il le désire une expérience ou une série d'expériences manquées, et dont les relations tenaient lieu d'hypothèses de départ. Au terme de son expérimentation, il pourra comparer les résultats observés à ses anticipations pour dégager les faits qui lui permettront d'élaborer une loi explicative. Compte tenu que les résultats statistiques fluctueront d'une génération à l'autre, selon le croisement choisi et la nature du ou des caractère(s) héréditaire(s) étudié(s), et comme cette fluctuation se traduira par des dénivellations au niveau des bâtonnets de l'histogramme, cette irrégularité devra éveiller la curiosité de l'élève, ce qui l'amènera inévitablement à faire un rapprochement entre ces fluctuations et les résultats probabilistes qui caractérisent les lois de Mendel. Ces étapes, une fois franchies, devraient offrir à l'étudiant l'occasion de réinvestir les lois acquises dans d'autres situations problématiques. C'est là qu'interviendra la seconde phase, celle de la démarche déductive.

Dans cette seconde phase déductive, les lois de la génétique mendélienne étant découvertes progressivement et intégrées les unes aux autres, l'étudiant aura l'opportunité de les réinvestir, de les transférer dans des situations problématiques ayant des applications concrètes dans la vie courante, comme par exemple étudier la transmission héréditaire des groupes sanguins chez l'homme, ou encore prédire les rapports phénotypiques et génotypiques d'une descendance issue d'un croisement de deux parents portant deux gènes liés (situés sur le même chromosome) et dont l'unité de recombinaison, exprimée en centimorgan, est connue. Ces applications devraient, selon les principes de Gombert et Fayol (1988), ouvrir des pistes de raisonnement à l'étudiant pour consolider ses connaissances, en améliorant son propre modèle explicatif puisqu'il peut, ici, à l'aide du simulateur tester ses propres activités cognitives, les autocontrôler, les autodiriger et les autoréguler.

Cette utilisation pédagogique de l'ordinateur, faisant passer l'esprit de l'apprenant de la synthèse (induction) à l'analyse (déduction) et inversement, est selon Not, cité par Hervé

(1993, p. 63), la voie privilégiée où l'élève, dans une ambiance motivante, pourra avoir une activité créatrice, donc participer de façon dynamique à la formation de son esprit.

En imposant à l'élève la démarche inductive pour modéliser le phénomène de la transmission des caractères héréditaires chez les êtres vivants, nous voulons faire œuvre d'une pédagogie innovatrice pour l'amener à développer un esprit critique scientifique. Constatons cependant que cette approche, centrée surtout sur l'expérimentation, peut sembler paradoxale puisqu'elle l'obligera à l'employer et à la mener jusqu'au bout, ce qui incontestablement enrichira sa démarche exploratoire et, de là, son esprit scientifique, par opposition à une formule pédagogique centrée sur les contenus et qui donnerait à l'élève des résultats plus rapidement et de manière essentiellement déductive. Avec cette approche, qui articule à la fois l'induction et la déduction, nous escomptons que :

- la formalisation par l'élève sera menée avec une grande rigueur scientifique et le plus loin possible ;
- les hypothèses de travail seront expliquées à fond ;
- les représentations construites graduellement par l'étudiant seront scrupuleusement critiquées, leurs limites de validité reconnues et vérifiées pas à pas ;
- ces représentations étant opérationnelles, elles devront conduire l'apprenant sur l'analyse, deuxième phase de la démarche scientifique, ce qui lui permettra de comparer ses élaborations aux faits réels et de les améliorer progressivement par la formulation de nouvelles hypothèses à vérifier, c'est-à-dire à expérimenter pour relancer ainsi le processus cyclique de l'induction et de la déduction typique de la démarche scientifique.

Ce qui est important, à travers ce modèle d'action, c'est d'amener l'élève à observer des régularités ou des irrégularités dans la répartition des proportions phénotypiques qui seront exprimées, à la fois, sous une forme iconique et sous une forme symbolique et à modéliser le phénomène de la transmission des caractères héréditaires pour qu'il puisse découvrir les règles et les lois qui régissent ce phénomène. La synthèse explicative de ces lois, quant à elle, pourra se faire en classe de manière déductive avec le professeur.

De toutes ces considérations relatives au modèle d'action, une question fondamentale nous interpelle. Nous la formulons de la façon suivante : de quels supports cognitifs et de quelle aide l'élève disposera-t-il lors de son interaction avec le simulateur pour appréhender les lois probabilistes de la génétique mendélienne ? Répondre à cette question revient, en quelque sorte, à déterminer à travers l'ensemble des principes qui furent énoncés dans le chapitre précédent ceux qui devraient rendre opérationnel le modèle d'action tant sur le plan pédagogique que sur le plan fonctionnel. Au risque de se répéter, soulignons une fois de plus que le modèle d'action concernera non seulement le simulateur que nous projetons de construire, mais aussi la documentation de l'étudiant et celle de l'enseignant qui comprendra une série de consignes qui devront assurer un encadrement humain de qualité tout au long de la mise à l'essai empirique.

Eu égard à la question soulevée précédemment, nous devons respecter les principes directeurs qui furent définis dans le chapitre antérieur. Il importe néanmoins d'indiquer que certains d'entre eux sont plus pertinents que d'autres. Nous les énumérons ci-après en totalité, tout en soulignant qu'ils ne retiendront pas tous la même attention au moment où nous y reviendrons après les deux mises à l'essai (mise à l'essai fonctionnelle et mise à l'essai empirique), lesquelles seront menées dans le cadre du sixième chapitre (chapitre 6).

Principe 1 : le didacticiel doit être fiable lorsqu'il est utilisé normalement.

Principe 2 : le didacticiel doit être flexible pour permettre à l'enseignant de l'adapter à ses besoins.

Principe 3 : le didacticiel doit être facile d'utilisation.

Principe 4 : le temps d'exécution des commandes ne doit pas dépasser 3 secondes. Dans le cas contraire, envoyer un message d'attente à l'utilisateur.

Principe 5 : construire des pages-écrans aérées, structurées, permettant à l'utilisateur de repérer rapidement l'information.

Principe 6 : présenter l'information à l'écran sous forme graphique, de tableaux et d'illustrations pour permettre à l'utilisateur de la décoder facilement.



Principe 7 : utiliser la couleur pour mettre en valeur les facteurs héréditaires.

Principe 8 : le son doit être utilisé de façon adéquate pour mettre l'emphase sur un fait particulier.

Principe 9 : développer un contenu respectant une hiérarchie logique, bien articulée, allant du simple au complexe.

Principe 10 : le logiciel doit renfermer un contenu ayant une valeur éducative enrichissante, véhiculé par un niveau de langage de qualité.

Principe 11 : intégrer au logiciel une unité qui se chargera de gérer les travaux des étudiants et d'emmagasiner leur trace à travers les différentes sections du logiciel.

Principe 12 : le didacticiel devra être conçu de manière à permettre à l'utilisateur de gérer et de contrôler le pilotage du didacticiel.


Principe 13 : créer un simulateur interactif en génétique favorisant un apprentissage de type inductif avec droit à l'erreur et où l'utilisateur peut mener des expériences à volonté.

Principe 14 : construire un simulateur basé sur un modèle simplifié représentant le phénomène de la transmission des caractères héréditaires.

Principe 15 : développer un logiciel de simulation où les conventions seront uniformes quant à la représentation des symboles et les modes d'interaction.

Principe 16 : développer un logiciel intégrant à la fois la modélisation du phénomène et la résolution de problèmes: Le didacticiel doit donc incorporer des expériences et la résolution de problèmes.

Principe 17 : développer un simulateur qui offre, à la fois, une évaluation personnalisée et sommative empêchant le plagiat entre les élèves et respectant les conditions d'un examen surveillé.



Principe 18 : mettre à la disposition des étudiants une personne-ressource lors de l'utilisation du didacticiel pour dénouer des situations difficiles.

principe 19 : la documentation doit décrire clairement ce que fait le logiciel et la façon dont il le fait, tant pour l'enseignant que pour l'élève.

principe 20 : la documentation doit intégrer des activités d'apprentissage pour l'élève et suggérer à l'enseignant des pistes d'utilisation du logiciel.

Principe 21 : la documentation doit fournir une aide technique et fonctionnelle à l'élève et à l'enseignant.

Principe 22 : l'organisation et la présentation de la documentation doivent être structurées, claires et appropriées.

En précisant le modèle d'action, il paraît alors convenable, maintenant, d'établir une stratégie de développement, à l'intérieur de laquelle, ce modèle deviendra fonctionnel. Le chapitre suivant décrit la structure schématique du prototype, la physionomie des unités qui le constitue, les liens entre ces unités de même que le rôle respectif de chacune de ces unités. Il sera également question du support technique et du langage informatique utilisés pour bâtir le prototype.

CHAPITRE 5
DÉVELOPPEMENT ET STRUCTURE DU PROTOTYPE

La conception du prototype a été faite à partir des principes directeurs définis dans le troisième chapitre (chapitre 3) et du modèle d'action déterminé dans le chapitre précédent. Cette étape a été aussi systématique que possible. Ainsi, avant d'enchaîner sur une nouvelle phase de la conception, nous avons vérifié et testé chaque prévision, chaque équivalence établie et chacun des cheminements prévus dans les différentes parties du prototype. Pour orienter ces vérifications, nous avons utilisé la version finale de la maquette comme document de référence afin que toutes les modifications qui seront faites soient consignées, au fur et à mesure, sur la maquette pour que celle-ci soit régulièrement mise à jour par rapport au prototype. Avant d'entamer l'élaboration proprement dite, nous nous sommes posé une série de questions, entre autres, quel support technologique allons-nous utiliser pour concrétiser la médiatisation ? Quel langage informatique allons-nous choisir pour élaborer les procédures qui vont gérer l'interaction entre l'utilisateur et le simulateur ? De combien d'unités le prototype sera-t-il constitué ? Quel sont les liens entre ces unités ? Quelle sera la fonction de chacune d'elles ? Répondre à ces questions revient, en quelque sorte, à situer notre démarche et à préciser les points qui seront traités dans ce chapitre.

La première section est consacrée au choix du support technologique et du langage informatique. La seconde partie présente le canevas général du prototype et les liens entre les différentes unités qui le constitue. La troisième section décrit la façon de manipuler le logiciel. La quatrième section expose les unités principales du prototype et leur rôle respectif. Le cinquième point présente les unités complémentaires intégrées au simulateur. La sixième et dernière section, évoque les modifications possibles qu'un enseignant peut apporter au simulateur pour l'adapter aux besoins de son action pédagogique.

5.1. Support technologique et langage informatique

À ce stade de notre démarche, nous avons fait deux choix. Le premier à trait au support technologique sur lequel nous avons développé le prototype. Le deuxième choix est lié au langage informatique compatible à l'environnement technologique choisi.

5.1.1. Environnement technologique

Nous avons choisi le système Macintosh comme support technologique pour bâtir le prototype du simulateur "Génétique". Les raisons qui ont suscité ce choix sont nombreuses.

D'abord, à cause des possibilités conviviales offertes par cet environnement, ensuite, pour ses affinités avec le processus naturel de penser et d'agir, également parce que la plupart des établissements scolaires sont équipés par des ordinateurs Macintosh et, finalement, lorsque nous avons projeté de créer ce didacticiel, la version 2.0 d'HyperCard supportée par cet environnement venait de faire son apparition sur le marché et qu'elle était accessible tant au public qu'aux écoles.

Sur un autre plan, la conception d'une simulation utilise généralement le graphisme et l'animation virtuelle d'objets non seulement à des fins d'illustrations, mais aussi comme forme de représentation synthétique et intégratrice des connaissances. L'environnement Macintosh offre ces possibilités. Callman et *al.*, cités par Barette et Regnault (1992, p. 19), sont arrivés à des constats concluants lorsqu'ils ont utilisé ce support informatique pour explorer des réseaux conceptuels chez des étudiants :

"Une souris ou tout autre outil permettant de pointer à l'écran devrait réduire la quantité de texte que les utilisateurs ou les utilisatrices ont à saisir. L'ordinateur devrait pouvoir lire et imprimer l'information graphique. L'ordinateur devrait être rapide et doté de beaucoup de mémoire. Un ordinateur qui offre ces caractéristiques est le Macintosh..."

Ces considérations et celles qui les ont précédé, nous ont amené à choisir l'univers Macintosh pour construire le logiciel. De plus l'auteur de ce travail est plus familier avec cet environnement que d'autres, comme les IBM ou leurs compatibles. Sauf que l'arrivée récente de "Window 1995" offre aujourd'hui des opportunités similaires sur IBM et ses compatibles. Il sera donc possible de traduire ce simulateur dans cet environnement à l'aide de l'utilitaire "Toolboock". Toutefois cette conversion ne se fera pas dans le cadre de cette thèse.

5.1.2. Langage de programmation

L'univers Macintosh a l'avantage d'offrir plusieurs niveaux de langage : logique, orienté-objet, procédural et fonctionnel. Comme certains langages informatiques semblent être plus près du langage naturel, qu'ils s'avèrent plus accessibles et permettent ainsi de réduire le temps de la programmation, nous avons opté alors pour un langage de program-

mation spécialement adapté à la réalisation d'un simulateur éducatif. Notre choix s'est arrêté sur le langage "Hypertalk" soutenu par l'application HyperCard. Aussi, nous tenterons de décrire sommairement les caractéristiques de cette application et de formuler en quelques lignes sa structure globale.

Selon Gauthier (1988), cette application a été conçue pour, entre autres, aider les concepteurs des didacticiels à produire des outils de qualité. Par ailleurs, l'application HyperCard est dotée d'un langage de programmation produisant des séquences enchaînées et offrant une édition graphique. Ce langage est considéré comme un environnement de développement assez évolué. HyperCard constitue un système de stockage d'informations sur cartes groupées en piles. Chaque carte affecte à l'écran une forme rappelant une carte réelle, et peut aussi porter des dessins. Il faut ajouter aussi que hyperCard profite de la qualité graphique de Macintosh pour mettre à la disposition de l'utilisateur un logiciel complet de dessin sur écran, toujours, bien sûr, au moyen de la souris.

Comme on peut le constater, les avantages de ce système de développement sont nombreux. Avec cette application on peut aller, revenir, naviguer, procéder par analogie, passer d'une section à l'autre ; l'ordinateur s'adapte enfin au raisonnement de l'esprit humain, et à sa manière de penser. Par ailleurs la confection des pages-écrans est aisée, le langage de programmation est facile à comprendre. De plus, il existe de nombreux scripts du domaine public et une grande accessibilité de l'application HyperCard dans le réseau scolaire.

Comme il a été mentionné précédemment, au moment où nous avons projeté de développer notre prototype, la version 2.0 d'hyperCard venait de faire son apparition sur le marché. Malheureusement, cette version s'est révélée limitée quant à son incapacité à représenter des objets ou des dessins en couleur et, par conséquent, elle ne comblait pas l'exigence de mettre en évidence certains caractères héréditaires, tels qu'on peut les observer réellement. Pour contourner cette difficulté, nous avons intégré à l'application HyperCard des ressources externes, plus particulièrement des commandes et fonctions externes pré-programmées (XCMDs, XFCNs). Ces ressources peuvent créer des fenêtres, des couleurs et des menus à défilements verticaux ou horizontaux.

Évidemment, le développement d'une simulation interactive suppose des prises de décisions de la part du concepteur. Ainsi, tout au long de notre travail nous nous sommes interrogé sur la qualité et la pertinence de notre entreprise. Chaque étape effectuée nous conduisait à soulever des questions du genre : le simulateur en cours de développement représente-t-il effectivement le phénomène simulé ? Tient-il compte des limites du support médiatique choisi ? Possède-t-il une qualité pédagogique ? Le programme fonctionne-t-il de manière fiable ? Est-il protégé contre les erreurs de manipulations incohérentes ? Le risque d'arrêt du programme est-il indiqué avec précision ? Le didacticiel est-il doté d'une fonction d'aide ? Si oui, est-elle accessible en tout temps ?

Il n'est donc pas étonnant de constater que certains travaux (Bégin et Leclerc, 1985 ; Besnainou et *al.*, 1988 ; Depover, 1990 ; Gerard et Roegiers, 1994) nous livrent des instructions précises à ce titre. Ces travaux dictent aux concepteurs de faire appel à des experts tout au long de la conception afin d'éviter inutilement des pertes de temps dues soit à des erreurs de programmation ou de conception. Tenant compte de cette suggestion, nous avons consulté de façon informelle des personnes ressources. L'objectif a été de recueillir des indications susceptibles d'enrichir notre entreprise tant au niveau du contenu qu'au niveau des aspects techniques et pédagogiques. La première version du prototype fut alors révisée en présence d'une personne ressource qualifiée ayant, à la fois, une formation scientifique et informatique. Cette phase nous a permis de corriger certains scripts informatiques qui empêchaient le programme d'agir convenablement.

5.2. Squelette du simulateur "GénétiQue" à l'état de prototype

Le canevas général du simulateur "GÉNÉTIQUE", illustré par la figure de la page suivante (figure 19), est constitué de deux grandes parties. Les "Piles" qui gravitent autour d'une pile maîtresse appelée "*Principale*" et les "*Movies*" qui sont des films dotés d'images en couleur pour visualiser et mettre en évidence les caractères héréditaires étudiés. La "*Principale*" est la porte d'entrée et de sortie du système. Elle assume les fonctions suivantes:

- présente le didacticiel et informe sur la façon de le manipuler: explique le rôle des icônes de navigation dans le didacticiel ;
- présente le concepteur, l'année de réalisation et le lieu de développement ;

5.3. Lancement de "Génétique"

Le simulateur "*Génétique*" est supporté par les types de Macintosh LC, Mac II, Centris et les gammes de PowerPC. Pour une meilleure exploitation du simulateur, l'ordinateur doit être équipé d'un disque dur d'au moins 6 Méga-octets (Mo) de mémoire vive et un minimum de 10 Mo d'espace disque. Un écran couleur est indispensable pour pouvoir mettre en évidence les images en couleur situées dans les "*Movies*". Le périphérique d'entrée nécessaire est la souris. L'imprimante est facultative. Le guide du professeur, qui sera annexé au présent travail, après la mise à l'essai fonctionnelle, contient une fiche signalétique qui résume les données techniques du simulateur et la façon de l'installer sur le disque dur de l'ordinateur.

Pour lancer le simulateur, l'utilisateur devra cliquer deux (2) fois de suite sur la pile "*Principale*". Il voit apparaître à l'écran la (figure 20) de la page suivante.

- Si l'étudiant choisi "*Objectifs*", il pourra lire les objectifs du didacticiel.
- En choisissant "*Démarche*", l'ordinateur affiche la démarche pédagogique suggérée.
- Si l'étudiant clique sur "*Mode d'utilisation*", l'ordinateur lui présente les différentes icônes de navigation et d'action du système.

Pour avoir accès au reste du simulateur, deux possibilités sont offertes : soit que l'étudiant utilise pour la première fois le logiciel, dans ce cas il clique sur "*Nouveau dossier*", soit qu'il possède déjà un dossier ouvert en son nom, dans ce cas il clique sur "*Nouvelle séance*".

En cliquant sur "*Nouveau dossier*", le système demande à l'utilisateur de s'identifier. Si aucun dossier ne porte la même identification que celle saisie, l'ordinateur crée un fichier personnel au nom de l'étudiant dans la pile des "*Données*" et lui accorde un code composé de 3 chiffres. Ce code sera exigé au début de chaque nouvelle séance.

En cliquant sur "*Nouvelle séance*", l'ordinateur réclame le code d'accès et le compare à celui qui est présent dans le fichier personnel. Si les deux codes sont identiques, l'ordinateur autorise l'accès à l'utilisateur, si non l'accès lui sera refusé.

CLIQUER SUR L'ICONE DE VOTRE CHOIX

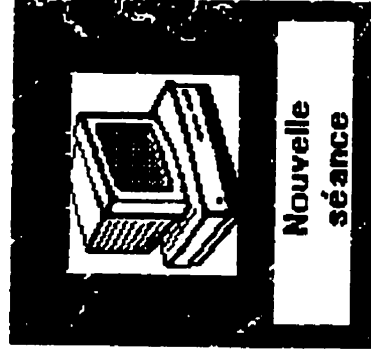
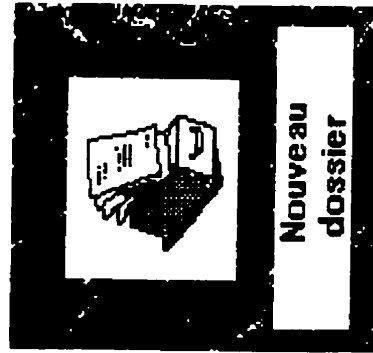
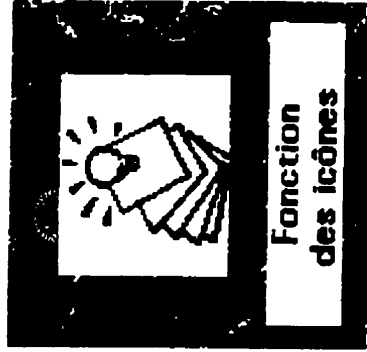
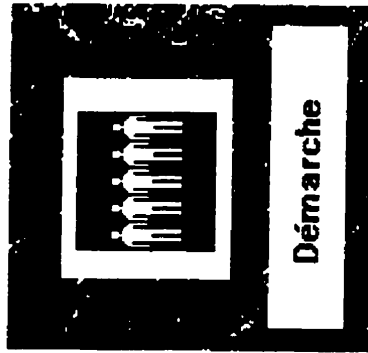
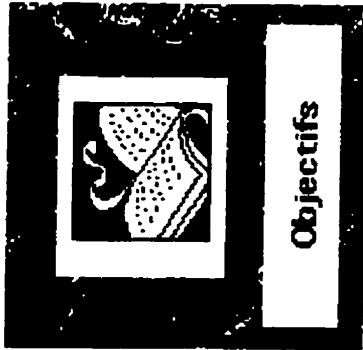


Figure 20 : Page-écran présentant le choix des icônes

Une fois l'accès est permis, que ce soit dans le cas d'une "nouvelle séance" ou dans le cas d'un "nouveau dossier", l'ordinateur donne des informations sur le concepteur, l'année de conception et le lieu où le simulateur fut développé. En cliquant sur "continuer", l'étudiant aboutit à la page-écran montrant le menu principal représenté par la figure ci-dessous (figure 21) et qui permet à l'utilisateur de s'orienter dans les différentes unités du simulateur.

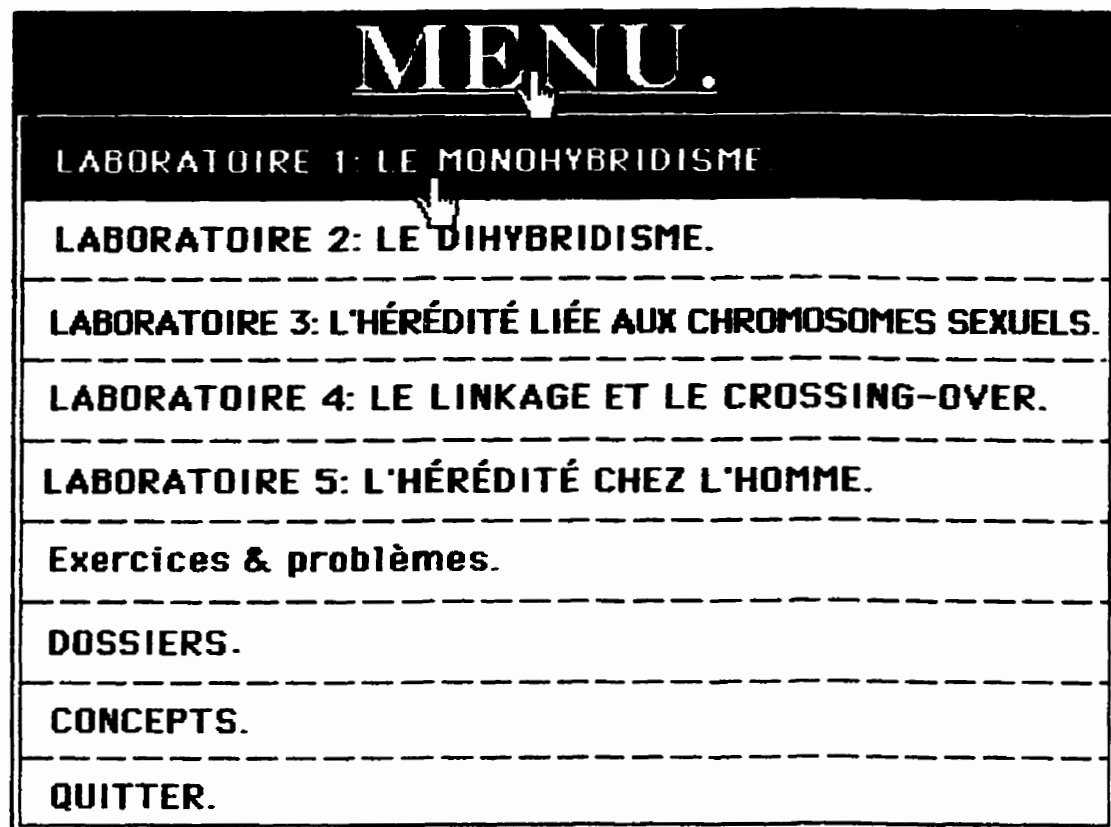


Figure 21 : Menu principal pour naviguer dans les différentes parties du simulateur

Ici, nous suggérons aux étudiants de commencer par le "Laboratoire1", suivi du "Laboratoire2" et ainsi de suite. D'ailleurs, à chaque nouvelle séance, le système vérifie la progression pédagogique de l'étudiant. Si celle-ci ne lui permet pas de travailler dans une section plus avancée, l'ordinateur le lui fera savoir.

En plus de la pile "principale", le prototype renferme cinq (5) autres piles auxquelles nous avons attribué le nom de "laboratoires". Le point suivant décrit ces unités et la fonction de chacune d'elles.

5.4. Les unités principales du simulateur ou "laboratoires"

Chaque pile débute par le titre et les objectifs du "Laboratoire":

- le "Laboratoire1", est conçu pour mener des expériences sur un seul caractère héréditaire : le monohybridisme ;
- le "Laboratoire2", propose des expériences mettant en jeu deux caractères héréditaires indépendants : le dihybridisme ;
- le "Laboratoire3", propose des expériences sur la génétique liée aux chromosomes sexuels ;
- le "Laboratoire4", suggère des expériences sur deux caractères héréditaires liés : Linkage et Crossing-over ;
- le "Laboratoire5", invite l'étudiant à construire des pedigree à partir de situations héréditaires connues chez l'homme : la génétique humaine.

Après la présentation du titre et des objectifs du laboratoire, l'étudiant sélectionne l'un des deux blocs qui composent le laboratoire. Le premier bloc dirige l'apprenant vers des expériences sur des animaux, le deuxième le mène à faire des expériences sur des végétaux. Il peut toutefois commencer par l'un ou l'autre. Ce choix permet de connaître le(s) caractère(s) héréditaire(s) qu'il va manipuler dans le bloc choisi : couleur du pelage chez la souris ; couleur des fleurs chez la belle-de-nuit ; couleur du corps et forme des ailes chez la Drosophile ; couleur et forme des graines chez le Pois ; le daltonisme et la transmission héréditaire des groupes sanguins chez l'être humain.

Nous présentons, dans ce qui suit, les particularités de chacun des cinq (5) laboratoires, notamment, leur architecture et les objectifs d'apprentissage. La progression pédagogique est similaire dans tous les laboratoires. Nous exposons celle du laboratoire1 pour illustrer cette approche, afin d'éviter d'y revenir à chaque fois que nous parlerons de la structure et du rôle des autres laboratoires.

5.4.1. Le "Laboratoire1"

5.4.1.1. Architecture du "laboratoire1"

L'architecture du "Laboratoire1", comme celle du "laboratoire2" et du "laboratoire3", est composée de deux grands blocs. La structure de ces deux blocs est identique dans les trois piles. Le premier bloc propose des croisements sur des animaux et le second sur des végétaux. Chaque bloc est subdivisé en trois sections (figure 22). La première, intitulée expérimentation, invite l'étudiant à réaliser les croisements qu'il souhaite faire, à manipuler le(s) caractère(s) héréditaire(s) choisi(s) et à observer les résultats expérimentaux générés par chacun des croisements sélectionnés. La seconde section, appelée vérification, permet à l'étudiant de faire un lien entre les résultats phénotypiques probables obtenus lors de l'expérimentation et les génotypes des parents croisés. La troisième partie intitulée conclusion, conduit l'étudiant à élaborer une synthèse à partir de ses observations et des expériences effectuées.

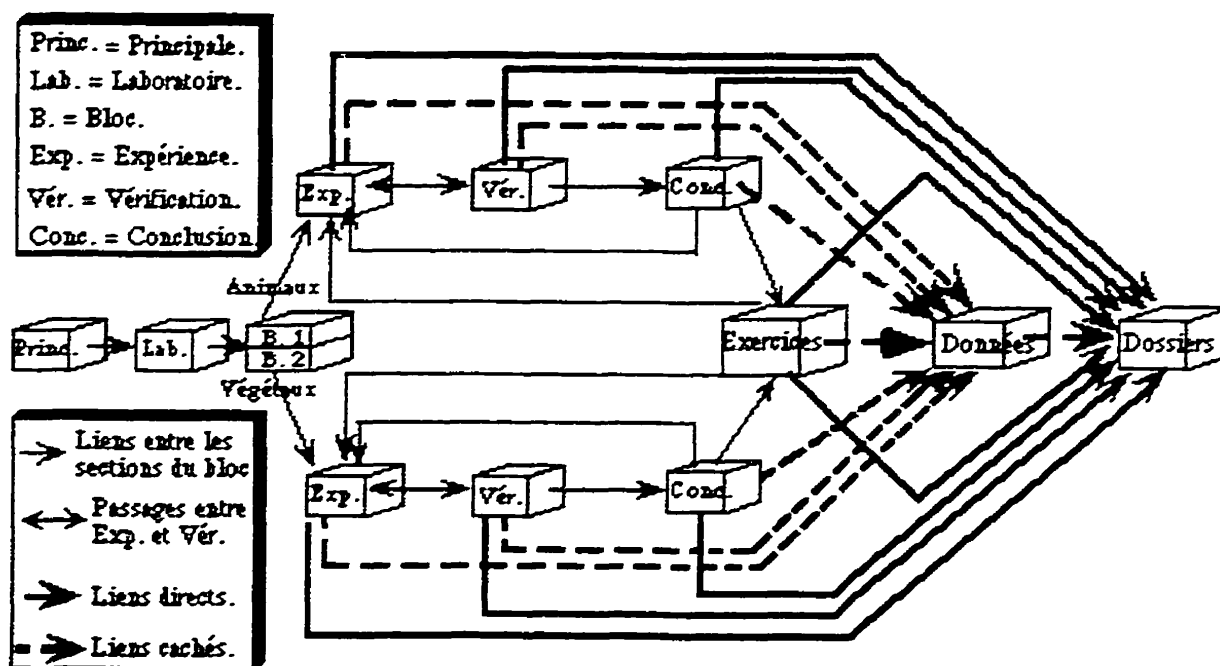


Figure 22 : Liens entre les sections dans les piles "Laboratoire 1, 2, et 3"

L'étudiant doit réaliser un certain nombre de croisements pour obtenir et observer des résultats satisfaisants, ce qui lui permet de tirer des conclusions significatives. Le nombre

des croisements varie d'un laboratoire à l'autre ; mais il est égale dans les deux blocs d'un même laboratoire. Le nombre des croisements est réduit à ceux que nous avons considéré comme étant pertinents et pouvant conduire l'apprenant à des conclusions constructives. Ainsi nous avons jugé inutile de faire faire à l'étudiant plusieurs croisements qui donneraient des résultats similaires. Par exemple, l'accouplement d'un mâle homozygote dominant et d'une femelle homozygote récessive génère une descendance dont les phénotypes probables seraient semblables à la génération issue du croisement réciproque. Ceci ne veut pas dire que nous limitons l'action et les choix de l'étudiant, au contraire, il peut faire autant de croisements qu'il le désire ; mais tant qu'il n'aura pas fait ceux que nous avons appelé "*Croisements types*", il ne pourra pas construire une synthèse adéquate. Ces croisements types, sont au nombre de :

- cinq (5) dans chacun des deux blocs du monohybridisme ;
- six (6) dans chacun des deux blocs du dihybridisme avec gènes indépendants ;
- quatre (4) dans le "*Laboratoire 3*" (hérédité liée au sexe) ;
- trois (3) dans le "*Laboratoire 4*" (linkage et crossing-over).

Le "*Laboratoire 5*" centré sur l'hérédité humaine est différent des autres laboratoires. Il ne comporte pas de croisements mais fait appel à la reconstitution d'arbres généalogiques ou "*pedigree*" à partir de situations et de faits connus chez l'être humain.

Quant aux objectifs pédagogiques, ils diffèrent d'un laboratoire à l'autre mais demeurent identiques pour les deux blocs d'un même laboratoire.

5.4.1.2. Objectifs du "*laboratoire 1*"

Le simulateur doit vérifier à chaque nouvelle séance la progression des apprentissages effectués. L'étudiant ne pourra pas passer à un niveau hiérarchiquement supérieur que lorsqu'il aura réussi les objectifs assignés à chaque laboratoire. Voyons ceux du "*laboratoire 1*" :

- réaliser les cinq (5) croisements types aussi bien chez les animaux que chez les végétaux pour pouvoir élaborer une synthèse adéquate ;
- distinguer entre une lignée pure et une race hybride ;
- différencier entre les notions de phénotype et de génotype ;
- prédire les proportions phénotypes probables de chaque descendance issue des croisements choisis ;
- établir une causalité probabiliste entre les données statistiques phénotypiques de la descendance et les génotypes des parents ;
- définir dans ses propres termes la loi de l'uniformité des hybrides qui s'énonce ainsi: tous les hybrides de la première génération (F1) sont phénotypiquement identiques les uns aux autres et sont semblables à l'un des deux parents (dans le cas d'une dominance complète) ;
- à la fin de chaque section, construire une conclusion permettant de synthétiser les observations et les expériences réalisées ;
- réussir les problèmes sur le monohybridisme en obtenant une note proche ou égale à 45 % .

Pour compléter un bloc, l'étudiant doit effectuer un certain nombre de manipulations proposées dans trois (3) phases successives qui sont l'expérimentation, la vérification et la conclusion. Nous décrivons, en premier lieu les manipulations que l'utilisateur aura à effectuer lors des deux premières phases avant de préciser l'intérêt didactique qu'il va en tirer de chacune d'elles.

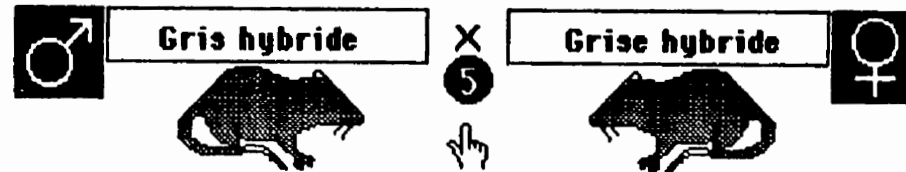
5.4.1.3. Manipulations au niveau de la phase expérimentale

Dans cette phase, illustrée par la (figure 23) de la page suivante, l'étudiant doit exécuter deux séries d'opérations. En cliquant sur "*Consignes et aide*", une fenêtre apparaît affichant la suite des instructions à suivre.

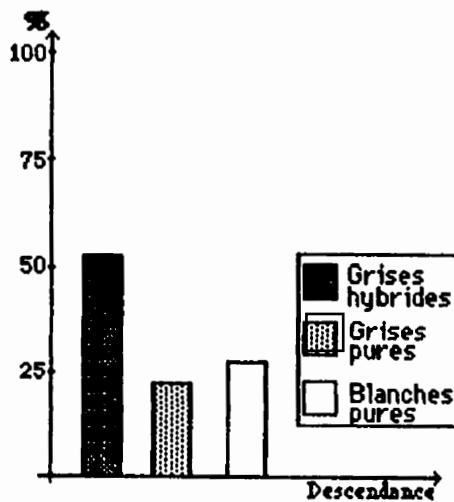
Couleur du ♂ ②

Couleur de la ♀ ③

Phénotypes de la descendance ? ④



15:30:00
00:12:32



50% grises hybrides + 25% grises pures + 25% blanches pures

Nombre des portées	Nombre total de la descendance	Nombre et % des blanches pures		Nombre et % des grises pures		Nombre et % des grises hybrides.		% total
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
1	7	0	0	3	42.90	4	57.10	100
2	9	4	44.40	2	22.20	3	33.30	100
3	10	2	20.00	1	10.00	7	70.00	100
4	10	4	40.00	1	10.00	5	50.00	100
5	11	4	36.40	2	18.20	5	45.50	100
6	6	1	16.70	1	16.70	4	66.70	100
Moyenne \bar{X}	9	2	26.00%	2	20.00%	5	54.00%	100

Concepts *

Vérification ⑥

Quitter *

Menu *

Dossier *

Consignes & aide ①

Figure 23 : Page-écran de la phase expérimentation

La première série d'instructions, composée de trois étapes, est spécifiée dans le cadre suivant.

- ① - Choisissez les caractères des parents en cliquant sur "**Couleur du ♂**" et sur "**Couleur de la ♀**". Vous pouvez commencer par l'un ou l'autre.
- ② - Formuler votre hypothèse à partir de "**Phénotypes de la descendance ?**".
- ③ - Pour exécuter vos choix, fermez cette fenêtre en cliquant n'importe où sur l'écran ou sur "**Consignes & aide**".

Pour observer la descendance et les résultats générés par le croisement, l'étudiant exécute une seconde série d'opérations indiquées ci-dessous :

- ① - Cliquez sur le symbole **X** situé entre les parents pour faire apparaître la génération issue du croisement.
- ② - Répétez l'opération ① au moins six (6) fois pour obtenir des résultats significatifs. L'ordinateur peut accomplir cette tâche à votre place.
- ③ - Pour vérifier votre hypothèse, cliquez sur "**Vérification**" symbolisée par le microscope.
- ④ - Pour fermer cette fenêtre ou relire ces consignes, cliquez sur "**Consignes & aide**".

Au terme de la sixième génération, l'étudiant peut, soit rajouter d'autres portées, en répétant la première consigne, soit passer à la vérification.

5.4.1.4. Manipulations au niveau de la phase vérification

En cliquant sur "**Vérification**", l'ordinateur verse dans le dossier de l'étudiant les choix effectués lors de l'étape précédente. Si l'utilisateur choisit un croisement déjà réalisé, l'ordinateur l'avise et lui accorde la possibilité soit de le refaire ou de sélectionner un autre croisement différent. Lors de la vérification, l'étudiant se trouvera face à une nouvelle carte qui est subdivisée en deux parties (figure 24) de la page suivante. Une partie supérieure résume les données de la phase précédente et une partie inférieure réservée à la vérification.

Résumé des données du croisement précédent.

Votre hypothèse:

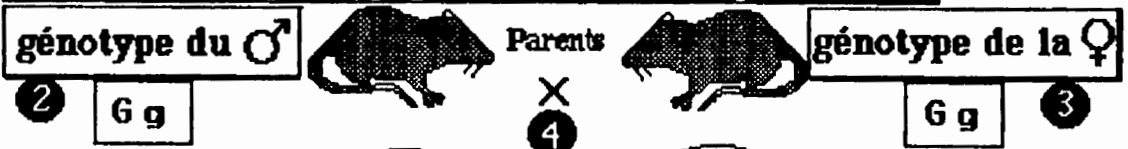
Vous avez répondu que la génération sera composée de 50% grises hybrides + 25% grises pures + 25% de blanches pures.

Nombre et % de la génération précédente.

01:25:05
00:05:05

	Nombre	%
blanches pures	2	26 %
grises pures	2	20 %
grises hybrides	5	54 %
Total:	9	100%

Interprétation génotypique du croisement précédent.



gamètes des parents avant la méiose.



gamètes des parents après la méiose.

gènes portés par les gamètes du ♂

5

gènes portés par les gamètes de la ♀	♀ \ ♂	G	g
	G	G G	g G
	g	G g	g g

6

Proportions des différents génotypes :		
Gris pur	1/4	} % souris grises
Gris hybride	2/4	
Blanc pur	1/4	} % souris blanches

X 7
Autres croisements

 *
Dossier

1 
Consignes & aide

Figure 24 : page-écran de la phase vérification

Lors de la vérification, l'étudiant doit exécuter une autre série de consignes qui sont indiquées ci-après:

- 1 - La partie supérieure résume les données du croisement précédent.
- 2 - La partie inférieure vous permet de faire un lien entre les données phénotypiques de la descendance et les génotypes des parents.
 - a - Cliquez sur "Génotype du ♂" et "Génotype de la ♀" pour choisir les génotypes des deux parents.
 - b - Cliquez sur X situé entre les deux parents pour faire apparaître les gamètes.
 - c - Placez convenablement ces gamètes à l'intérieur de l'échiquier de croisement et, à la fin, observez la composition statistique de la génération.
- 3 - Pour fermer cette fenêtre ou relire ces consignes, cliquez sur "Consignes & aide"

À ce stade, l'étudiant devra s'apercevoir qu'il y a un lien entre les probabilités phénotypiques de la descendance et les génotypes portés par les gamètes des parents. À la fin de la vérification, l'étudiant compare et analyse ses prédictions et les résultats statistiques obtenus. Ensuite, il est invité à faire d'autres croisements en activant le bouton "Autres croisements". Au même instant, les choix opérés par l'étudiant et les résultats obtenus, dans la partie vérification, sont versés dans son dossier personnel.

5.4.1.5. Démarche pédagogique au niveau des deux phases

C'est l'étudiant qui choisi les caractères héréditaires portés par les deux parents, il détermine le phénotype qu'il désire manipuler. Cette étape le conduit à prédire les proportions phénotypiques probables de la descendance. L'ordinateur exécute le croisement, les pourcentages phénotypiques de chaque portée s'affichent dans un tableau simultanément à l'apparition de la génération. Conjointement à ces deux représentations (iconique et statistique), l'ordinateur trace un histogramme, dont les bâtonnets illustrent les fréquences phénotypiques de la génération issue du croisement des deux parents. Compte tenu que l'utilisateur doit observer les résultats d'au moins 6 portées d'un même croisement, et comme le script, qui contrôle l'affichage des images et l'apparition des résultats statistiques dans le tableau, est doté d'une procédure qui génère aléatoirement les pourcentages phénotypiques, ceci a pour effet de faire varier les proportions phénotypiques d'une portée à

l'autre, ce qui a aussi pour conséquence de provoquer des dénivellations au niveau des bâtonnets du graphique.

L'alternance entre la phase expérimentale et la vérification fait passer l'étudiant de l'induction à la déduction et vice versa. D'après Desautels (1995) et Nonnon (à paraître), la réalité expérimentale étant simulée de manière quasi inductive à l'aide de deux modes de représentations : l'une est symbolique, l'autre est iconique. Ceci a pour effet de conduire l'étudiant à construire un modèle explicatif du phénomène en l'absence de la réalité expérimentale. L'animation iconique (image des individus représentant la descendance), l'affichage des probabilités phénotypiques sous forme de données statistiques et la représentation graphique se font simultanément de manière à amener l'étudiant à utiliser ces référents sensoriels comme outils cognitifs. Ceux-ci devraient lui faciliter le passage de la représentation concrète et iconique à une construction abstraite.

D'autres options de navigation sont également offertes à l'étudiant qu'il soit en phase expérimentale ou en phase vérification. La figure suivante (figure 25) illustre quelques boutons mis à la disposition de l'étudiant qu'il peut activer à n'importe quel moment :

Boutons qui commandent des actions dans une même pile.



Boutons qui déplacent l'utilisateur d'une pile à l'autre.



Figure 25 : Icônes qui commandent diverses actions dans le système

- pour consulter un concept inconnu, il doit cliquer sur "*Concepts*". Lorsque la consultation est terminée, il peut retourner au point de départ à l'aide du bouton "*Retour*";
- pour consulter son dossier, il doit cliquer sur "*Dossier*". À la fin de cette consultation, il peut retourner à sa position initiale en cliquant sur "*Retour*";

- pour retourner au menu principal, il doit activer le bouton "Menu" ;
- pour quitter définitivement le système, il n'aura qu'à cliquer sur le bouton "Quitter".

Tous ces boutons sont également accessibles à partir de n'importe quel endroit du simulateur, y compris la pile des "*Exercices & problèmes*".

Lorsque l'étudiant termine tous les croisements types exigés, il reçoit un message pour passer à l'étape subséquente qui est la conclusion.

5.4.1.6. Manipulations et démarche au niveau de la conclusion

À l'écran, la conclusion est illustrée par la figure de la page suivante (figure 26). Elle se déroule en deux temps au cours desquels l'étudiant dispose d'instructions qui lui permettent de connaître les étapes à franchir pour construire sa conclusion. Ces directives sont :

- La fenêtre, située en haut de l'écran, contient des éléments que vous devez placer un par un à l'intérieur des rectangles. Il suffit de sélectionner l'élément dans la fenêtre et de cliquer dans la case appropriée pour le placer dedans.
- Lorsque vous auriez terminé cette étape, cliquez sur "Correction". L'ordinateur fera la correction en pointant la case qui contiendrait un élément éronné. Pour changer l'élément faux, sélectionner dans la fenêtre celui que vous désirez remplacer et recliquer dans la case indiquée. Cliquez sur "Correction". Pour chaque faute, 10 points seront soustraits de votre note finale.
- À la fin de la correction, une question vous sera posée. 4 réponses sont proposées en bas et à gauche de l'écran. Cliquez sur celle qui vous semble exacte.
- Cliquez sur "Terminé" pour enregistrer les résultats de la conclusion dans votre dossier
- Pour relire ces consignes et/ou fermer cette fenêtre, cliquez sur "Consignes & aide".

La première étape consiste à remplir des cases vides par des lettres, des mots et des nombres qui figurent dans une liste intitulée "*Liste des éléments*". Cette liste apparaît dès l'ouverture de la page-écran. L'étudiant peut aussi l'appeler à n'importe quel moment en cliquant sur le bouton "*liste des éléments*". La façon d'exploiter cette liste est expliquée dans le premier point des consignes.

La deuxième étape, invite l'étudiant à répondre à une question complémentaire formulée ainsi : "Comment expliquez-vous l'apparition du nouveau phénotype dans la descendance ?". Il doit donc cliquer sur l'un des quatre boutons situés en bas à gauche de l'écran. Il faut noter ici que ces boutons sont cachés. Ils n'apparaissent que lorsqu'il aura terminé la correction de la première partie.

Une note comprise entre 0 et 100 est attribuée à la première partie. À chaque erreur, l'ordinateur soustrait 10 points. Le décompte se poursuit jusqu'au moment où l'étudiant obtienne une note satisfaisante, supérieure à 50%.

Une seconde note, également comprise entre 0 et 100, est allouée à la réponse complémentaire. En sélectionnant la première, l'étudiant obtient 100 points, s'il choisi une des trois autres réponses sa note sera de 0. L'ordinateur calcule la moyenne des deux notes. Une note globale inférieure à 70% l'invite à refaire la conclusion, alors qu'une note égale ou supérieure à 70% l'autorise à passer à une nouvelle étape. Là, l'ordinateur verse les résultats et les notes dans son dossier, ensuite l'utilisateur est conduit au début du bloc 2 du laboratoire1 : expériences sur les végétaux.

En travaillant dans le bloc 2, l'étudiant doit suivre la même démarche que celle menée dans le bloc 1. Dans la conclusion du bloc 2, l'étudiant devrait s'apercevoir qu'il y a des exceptions à certaines de ses observations effectuées dans le bloc 1. En effet, l'exemple de la belle-de-nuit, dans le bloc2 du laboratoire1, montre que la génération issue d'un croisement de deux fleurs hybrides de couleur rose donne des proportions phénotypiques qui sont de l'ordre de : $1/4$ de fleurs rouges, $1/2$ de fleurs roses et $1/4$ de fleurs blanches. Contrairement à la conclusion sur les souris, où la génération issue des deux parents hybrides est constituée de : $1/4$ de souris blanches et $3/4$ de souris grises.

Au terme de son travail dans le laboratoire1 et avant de passer au laboratoire2, l'étudiant est invité à réinvestir ses connaissances acquises dans des situations problématiques. Il est donc amené dans une autre unité intitulée "*exercices et problèmes*". Sans détailler ni la structure ni l'intérêt pédagogique de cette unité, signalons que le point (5.5.1) situé un peu plus loin développe les caractéristiques de cette pile.

5.4.2. Le "Laboratoire 2"

Pour respecter le principe 15, énoncé dans le troisième chapitre, concernant l'uniformité dans la représentation du phénomène simulé, l'architecture et la présentation à l'écran de cette pile sont totalement identiques à celles du "laboratoire1". Comme dans le "laboratoire1", nous avons assigné des objectifs d'apprentissage au "laboratoire2".

5.4.2.1. Objectifs du "Laboratoire 2"

- Identifier et conduire les croisements types afin de pouvoir construire une synthèse adéquate ;
- mener des expériences en suivant la transmission de deux caractères héréditaires chez la Drosophile et chez le Pois ;
- distinguer entre les notions de phénotype et de génotype ;
- définir dans ses propres termes la loi de l'uniformité des hybrides: les hybrides de la première génération (F1) sont semblables les uns aux autres ;
- identifier les catégories de gamètes formés par l'hybride et leur fréquence ;
- expliquer l'apparition de 2 caractères nouveaux dans la génération issue du croisement de deux parents hybrides ;
- compléter sans erreurs la conclusion sur la drosophile et sur le Pois ;
- réussir les exercices du "Laboratoire2" en obtenant une note proche ou égale à 45%.

5.4.2.2. Structure de la pile et démarche dans le "Laboratoire2"

Comme mentionné ci-haut, la structure de cette pile est identique à celle du "Laboratoire1", la progression pédagogique est également la même. La seule différence qui

existe entre les deux laboratoires réside dans la manipulation au niveau de l'étape de la vérification. Dans le "*Laboratoire1*" c'est l'étudiant qui déplace, à l'aide de la souris, les gamètes des parents dans l'échiquier de croisement, alors qu'ici c'est l'ordinateur qui remplit cette tâche. Nous avons intégré cette procédure au simulateur afin d'accélérer le processus de l'union des gamètes issus des parents géniteurs; mais surtout pour dispenser l'utilisateur d'exécuter certaines tâches inutiles, souvent routinières et pouvant amener au rejet.

5.4.2.3. Démarche au niveau de la conclusion du "*Laboratoire2*"

La page-écran de la conclusion du "*laboratoire 2*" est identique à celle du "*laboratoire1*". La démarche pour tirer des conclusions dans le "*laboratoire 2*" est analogue à celle du "*laboratoire 1*". Sauf qu'au lieu de travailler et de manipuler un seul caractère héréditaire ou gène, l'étudiant aura à manipuler deux (2) gènes à la fois : la forme des ailes et la couleur des yeux chez la drosophile.

5.4.3. Le "*Laboratoire 3*"

5.5.3.1. Objectifs du "*Laboratoire 3*"

- Identifier et réaliser les croisements types afin de pouvoir construire une synthèse adéquate ;
- conduire des croisements entre deux lignées pures de Drosophiles différant par la coloration des yeux : une race "*sauvage*" aux yeux rouges et une race "*mutée*" aux yeux blancs ;
- interpréter les résultats phénotypiques probables obtenus dans chacun des croisements effectués ;
- établir un rigoureux parallèle entre la répartition des chromosomes et la distribution des gènes portés par les chromosomes sexuels ;
- compléter sans erreurs la conclusion à la fin de la section du "*Laboratoire 3*" ;

- réussir les exercices et les problèmes du "*Laboratoire 3*" en obtenant une note égale ou proche de 45%.

5.5.3.2. Architecture de la pile et démarche dans "*Laboratoire 3*"

Contrairement aux laboratoires 1 et 2, le "*laboratoire3*" n'est constitué que d'un seul bloc divisé en trois sections qui sont l'expérimentation, la vérification et la conclusion. Dans ce laboratoire l'étudiant mène des croisements sur la *Drosophile*. Quant à la progression, elle est identique à celle proposée dans le "*Laboratoire1*" tant au niveau de la phase expérimentale qu'au niveau de la phase vérification. Au niveau de la vérification, c'est l'étudiant qui déplace les gamètes des parents à l'intérieur de l'échiquier de croisement. Cette opération n'est pas longue comme dans le "*Laboratoire2*", où c'est l'ordinateur qui accomplit cette tâche.

5.4.4. Le "*Laboratoire 4*"

Ce laboratoire est conçu dans le but d'amener l'étudiant à faire une distinction entre le dihybridisme classique, avec gènes indépendants, traité dans le "*Laboratoire2*" et le dihybridisme avec gènes liés impliquant le phénomène du linkage. En spécifiant les objectifs de ce laboratoire, on peut préciser les apprentissages attendus de l'utilisateur.

5.4.4.1. Objectifs du "*Laboratoire4*"

- Prédire les probabilités phénotypiques de la descendance ;
- constater que les résultats statistiques obtenus au cours des croisements réalisés ne s'accordent avec aucun résultat observé dans les laboratoires précédents ;
- songer à une liaison entre les gènes pour expliquer les probabilités phénotypiques observées ;
- comprendre que le phénomène du linkage ne se produit que chez les hybrides ;

- lier le phénomène du linkage au brassage intrachromosomique (échange du matériel génétique) qui se produit souvent lors des étapes de la méiose : disjonction des allèles (paternels et maternels) et répartition aléatoire des allèles entre les cellules filles ;
- résoudre les exercices et problèmes ayant un lien avec ce laboratoire.

5.4.4.2. Architecture et démarche dans le "Laboratoire 4"

Le "laboratoire 4" comporte deux blocs. Le premier est destiné à suivre le linkage chez la drosophile. Le deuxième bloc porte sur les végétaux, plus particulièrement sur la forme et la couleur des graines du Maïs. Les deux exemples proposés sont des cas classiques qu'on trouve assez souvent dans des manuels scolaires. Chaque bloc est divisé en deux sections. La première c'est l'expérimentation où l'étudiant choisi le(s) phénotype(s) de la descendance et conduit ses croisements. Dans ce laboratoire il n'y a que trois croisements par bloc. La deuxième section, est le lieu où l'étudiant fait ses interprétations. À partir d'illustrations montrant les phases de la méiose et la répartition des chromosomes à l'intérieur de chaque cellule fille, l'étudiant doit interpréter ce qu'il observe en établissant un lien entre les résultats statistiques obtenus et la répartition aléatoire des allèles dans chaque cellule fille.

Cette pile s'achève par une vérification des apprentissages en proposant à l'étudiant des exercices et des problèmes d'application.

5.4.5. Le "Laboratoire 5"

5.4.5.1. Objectifs du "Laboratoire5"

- Attirer l'attention de l'étudiant sur le fait que l'Homme ne peut pas être considéré comme un matériel expérimental, comme c'est le cas pour les espèces animales et végétales ;
- à partir de certaines situations chez l'être humain, l'étudiant est appelé à construire, à analyser et à interpréter la généalogie des familles porteuses d'anomalies héréditaires ;

- résoudre les problèmes et exercices se rapportant à la génétique humaine.

5.4.5.2. Architecture du "Laboratoire5"

L'étude de l'hérédité dans l'espèce humaine fait appel aux informations scientifiques fournies par la généalogie. Cette branche de la génétique, se contente d'étudier et d'analyser des cas sans jamais pouvoir expérimenter. Pour respecter cette réalité, nous avons conçu la structure de cette pile de manière à faire réfléchir l'étudiant sur des situations problématiques concrètes. À partir d'énoncés, l'étudiant est donc invité à prédire le(s) phénotype(s) de la descendance issue d'une union entre couples présentant des aberrations héréditaires et à construire le pedigree de cette famille. La (figure 27) de la page suivante illustre un exemple de ces situations.

Le "*Laboratoire 5*" est formé de deux blocs. Le premier est centré sur des situations héréditaires humaines portant sur un seul gène situé soit sur des chromosomes autosomiques, comme le gène qui gouverne les groupes sanguins ABO, soit sur des chromosomes sexuels, comme par exemple le daltonisme et l'hypertrichose. Le deuxième bloc, fait réfléchir sur des situations héréditaires plus complexes mettant en évidence deux gènes à la fois portés par des autosomes, c'est le cas des groupes sanguins ABO et du facteur Rh. L'étudiant complète ce laboratoire par des exercices et problèmes.

Énoncé
 Un homme de groupe sanguin (A; Rh⁺) son génotype est $I^A I^B Rh^+$ épouse une femme dont le groupe sanguin a la même constitution génotypique que le mari. Quelles vont-ête les proportions génotypiques probables des enfants de ce couple ?

11:15:08
 00:00:22

Phénotype de la descendance?

♂	♀								

Proportions phénotypiques

1/6
1/6
1/6
1/6
1/6
1/6
1/6
1/6

Phénotypes de la descendance

A ; Rh ⁺
A ; Rh ⁻
B ; Rh ⁺
B ; Rh ⁻
AB ; Rh ⁺
AB ; Rh ⁻
O ; Rh ⁺
O ; Rh ⁻

Légende pour compléter le pedigree

	♂	♀

Vérification

Quitter

Menu

Dossier



Consignes & aide

Concepts

Figure 27 : Exemple d'un énoncé dans le "laboratoire.S" lié à l'hérédité humaine

5.4.5.3. Démarche au niveau du "Laboratoire 5"

Comme dans les laboratoires précédents, l'étudiant dispose d'une aide qui l'informe sur les étapes à suivre pour mener à terme sa démarche. Ces informations sont présentées ci-après.

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1 Lisez attentivement les données de l'énoncé. Choisissez une réponse en cliquant sur le bouton "Phénotypes de la descendance?". 2 Cliquez sur ✓ pour continuer. 3 Observez les résultats du croisement dans l'échiquier, de même que les proportions phénotypiques et génotypiques de la descendance. 4 En se basant sur ces résultats et sur les proportions phénotypiques, cliquez sur l'enfant qui ne devrait pas être présent parmi la descendance sur l'arbre généalogique. Si le pedigree ne comporte aucune erreur, cliquez sur le bouton "Aucune erreur...". | 
 |
|--|--|

Nous avons combiné deux stratégies pour permettre aux étudiants de démystifier les situations héréditaires proposées. Le premier moyen consiste à présenter un cas, sous forme d'énoncé, à partir duquel l'étudiant tente de prévoir les proportions phénotypiques de la descendance issue d'un accouplement dont les génotypes parentaux sont connus. C'est le cas, par exemple, des groupes sanguins. Un second moyen consiste à construire l'arbre généalogique ou "*pedigree*" de cette famille en fonction du caractère étudié. L'étudiant doit construire le pedigree avec des symboles situés à droite de l'écran en les glissant à l'aide de la souris dans les endroits appropriés de l'arbre généalogique.

À la fin, l'étudiant se prononce sur la composition du pedigree en y identifiant, parmi les rejetons, le(s) enfant(s) ayant reçu(s) le gène responsable de l'anomalie ou de dire si le pedigree ne comporte aucune erreur. Le pedigree n'apparaît qu'une fois les gamètes sont placés dans l'échiquier de croisement et les résultats s'affichent au tableau.

5.5. Unités complémentaires du simulateur

Afin de respecter les principes directeurs formulés dans le troisième chapitre du présent travail, nous avons incorporé aux unités de base, à savoir les laboratoires, d'autres unités complémentaires qui ont chacune un rôle particulier. Ainsi, par exemple :

- la pile "*Exercices et problèmes*" permet à l'utilisateur de vérifier les apprentissages réalisés dans les différents laboratoires ;
- les pile "*Dossiers*" et "*Données*" se chargent de gérer les dossiers personnels des étudiants. Elles emmagasinent les résultats des croisements, les hypothèses expérimentales, les dates, le temps alloué aux activités et les différentes notes ;
- la pile "*concepts*" permet à l'utilisateur de connaître le sens d'un concept inconnu.

Nous décrivons dans les sections subséquentes ces unités, en précisant leurs caractéristiques.

5.5.1. La pile "*Exercices & problèmes*"

5.5.1.1. But de la pile "*Exercices & problèmes*"

Cette pile a été conçue dans le but de vérifier les connaissances acquises, mais aussi pour renforcer celles-ci. Son niveau d'intervention se situe à la fin de chaque laboratoire. Cet outil place les étudiants en situation de résolution de problèmes pour sonder leur savoir quant aux lois probabilistes de la génétique formelle. Il est important de souligner que les exercices ne sont pas prédéterminés, mais qu'ils sont générés de façon aléatoire, de manière à éviter aux utilisateurs de résoudre les mêmes problèmes. Au total, nous avons rédigé 74 exercices et problèmes répartis comme suit :

- 29 exercices sur le monohybridisme appartenant à trois séries :
- la première série composée de 15 exercices avec dominance complète, dont les cartes sont intitulées de M1 à M15 ;
- la deuxième série constituée de 10 problèmes avec gène létal. Les cartes de cette série sont appelées ML1 à ML10 ;
- la troisième série formée de 4 exercices sans dominance ou codominance. Nous avons appelé les cartes de cette série MC1 à MC4 (allèles codominants).

Lors de la phase de la résolution, l'ordinateur tire au hasard quatre (4) exercices sur le monohybridisme : 2 appartenant à la première série, 1 à la deuxième série et 1 autre exercice correspondant à la troisième série.

- 19 exercices sur le dihybridisme avec gènes indépendants répartis aussi en trois séries :
- la première série composée de 12 exercices où il y a dominance complète d'un gène sur l'autre. Les cartes de cette série sont intitulées D1 à D12 ;
- la deuxième série constituée de 4 problèmes avec au moins un gène létal. Les cartes de cette série sont appelées DLt1 à DLt4 ;
- la troisième série formée de 3 exercices sans dominance entre les couples d'allèles (codominance). Les cartes de cette série sont nommées DC1 à DC3.

À la fin du "Laboratoire2", l'ordinateur tire au hasard quatre (4) exercices sur le dihybridisme : 2 de la première série, 1 de la deuxième série et 1 exercice de la troisième série.

- 8 exercices sur le dihybridisme avec gènes liés (LINKAGE)
- Les cartes qui contiennent ces huit (8) exercices sont identifiées de DGL1 à DGL8.

À la fin de ce laboratoire, l'ordinateur tire au hasard deux (2) exercices sur le linkage.

- 8 problèmes sur l'hérédité liée au sexe : les cartes de cette série sont appelées S1 à S8. On y trouve quelques cas avec létalité et un cas d'hérédité lié au sexe chez l'homme comme le "Daltonisme", il s'agit de la carte S8.

Au terme de ce laboratoire, l'ordinateur tire au hasard deux (2) exercices sur l'hérédité liée au sexe.

- 10 exercices sur l'hérédité humaine "Pedigree" : cette série de cartes s'appelle P1 à P10.

Là aussi, à la fin de ce laboratoire, l'ordinateur tire au hasard 3 exercices sur l'hérédité humaine.

5.5.1.2. Structure de la pile "Exercices & problèmes"

Cette pile est composée de deux (2) parties avec un nombre variable de cartes d'une partie à l'autre.

La première contient trois cartes qui se succèdent. On y trouve tout d'abord la carte présentant le titre de la pile "*Exercices & problèmes*", au niveau de laquelle l'étudiant doit saisir son code. Le but de cette opération est de vérifier quel laboratoire a été complété et, en même temps, pour permettre à l'ordinateur de tirer au sort les exercices qui correspondent au module qui vient d'être terminé par l'étudiant. La deuxième carte est inaccessible, du moins à l'étudiant, elle contient un champ qui renferme des données utiles à exécuter la procédure qui tire au hasard les exercices. La troisième carte est un "*modèle*" d'une carte d'exercices. L'utilisateur est invité à déplacer le curseur sur la surface de cette carte pour s'informer sur le rôle de chacun des objets qu'elle contient et sur la manière de résoudre les problèmes.

La deuxième partie est constituée de 74 cartes. Ce sont les cartes des exercices, dont la structure est pratiquement identique d'une carte à l'autre et ressemblant à la (figure 28) de la page suivante. Sauf pour les cartes intitulées P1 à P10 qui traitent de l'hérédité humaine.

1 ÉNONCÉ DE L'EXERCICE OU DU PROBLÈME.	
<p>4 mot choisi, prêt à être placé.</p> <p>3</p> <p>Aucune idée</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p>	<p style="text-align: center;">2 SOLUTION INCOMPLÈTE.</p> <p>(espaces à remplir par les mots choisis et prêts à être placés)</p>
<p>6</p> <p>Concepts</p>	<p>6</p> <p>Correction</p>
<p>5</p> <p>Quitter</p>	<p>5</p> <p>Aide</p>
<p>6</p> <p>Dossier</p>	

Figure 28 : Structure d'une page-écran d'un exercice

5.5.1.3. Démarche dans la pile "Exercices & problèmes"

La démarche à suivre est expliquée dans la carte "modèle" de la pile des exercices. Nous précisons, ici, les principales étapes :

- faire une lecture attentive et complète de l'énoncé ;
- lire la solution à compléter pour identifier le(s) mot(s) correspondant au(x) vide(s) à remplir ;
- cliquer sur le concept et le placer dans l'un des espaces vides au niveau de la solution ;
- lorsque tous les espaces vides sont remplis, cliquer sur le bouton "correction". L'ordinateur corrige et à chaque erreur, il soustrait 8/10 de la note totale qui est de 100

points. À la fin de la correction, l'ordinateur verse la note de chaque exercice dans le dossier de l'étudiant.

5.5.2. La pile des "Données"

5.5.2.1. But de la pile des "données"

Cette pile a pour but de stocker les travaux et les notes des utilisateurs. Les informations qu'elle recueille sont stocker dans des champs, on y trouve les champs qui reçoivent :

- l'identification de l'étudiant (Nom, Prénom et Code) ;
- les croisements effectués dans les différentes piles ;
- les prédictions sur la composition phénotypique probable de la descendance pour chacun des croisements ;
- les génotypes des deux parents ayant conduit à l'apparition des phénotypes observés ;
- le temps consacré à chacune des sections de la pile ;
- la trace dans chaque pile : le nombre de fois visitée et la date de chaque visite ;
- les résultats obtenus dans les conclusions, les exercices et les problèmes.

C'est au niveau de cette pile que l'ordinateur vérifie l'état d'avancement des travaux de l'utilisateur, ses notes et sa progression pédagogique dans le but de lui permettre de passer ou non à une nouvelle section.

5.5.2.2. Structure de la pile des "données"

La pile est constituée de deux cartes qui se distinguent par leur structure et leur rôle. La première intitulée "index" renferme divers champs disposés selon la figure suivante (figure

29) et contenant des informations diverses telles le nom, le prénom, le code et d'autres informations sur l'utilisateur.

C'est au niveau de cette carte que l'ordinateur vérifie les informations dès qu'un étudiant s'identifie au niveau de la pile "*Principale*".

La deuxième carte appelée "*Modèle*", elle contient plusieurs champs vides qui sont prêts à recevoir des données. C'est cette carte modèle qui sera dupliquée pour donner naissance à d'autres cartes qui lui seront identiques et portant, chacune, le nom de l'utilisateur. Au niveau de la "*Principale*", lorsque l'étudiant opte soit pour "*nouvelle séance*" soit pour "*nouveau dossier*", l'ordinateur vérifie dans la carte "*index*" le nom, le prénom et le code saisis. Si ces informations sont compatibles aux données saisies, l'ordinateur vérifie une autre fois leur validité dans la carte personnelle de l'étudiant pour lui permettre l'accès. Si les informations saisies sont nouvelles et que l'étudiant a choisi "*nouveau dossier*" dans la pile "*Principale*", dans ce cas la carte modèle se dupliquera et portera le nom du nouveau étudiant. Le nombre de cartes dans cette pile est donc égal au nombre des utilisateurs plus la carte "*modèle*" et la carte "*index*".

LABORATOIRES Exercices & problèmes												
Prénoms	Noms	Codes	1	2	3	4	5	E1	E2	E3	E4	E5

Figure 29 : La carte "*index*" dans la pile des "*Données*"

5.5.3. La pile "Dossiers"

5.5.3.1. But de la pile "Dossiers"

La pile "Dossiers" recueille les informations concernant les interactions de l'étudiant avec le système. Elle est constituée de fichiers personnels regroupant les mêmes informations que celles qui se trouvent dans la pile "Données", mais de façon plus structurée. Dans un contexte scolaire, cette base de données permet à l'enseignant de faire une évaluation des travaux des élèves et de suivre leur progression à travers le logiciel. Dans un contexte d'autoformation, le dossier permet à l'étudiant de faire un bilan réflexif sur ses apprentissages. Cette unité a donc un double rôle : diagnostique et correctif.

Pour le maître, les dossiers personnels permettent de diagnostiquer pour chaque élève si une difficulté se présente et à qu'elle niveau précis elle se manifeste, ceci a pour effet d'apporter à l'étudiant une aide individuelle utile.

Pour l'étudiant, son dossier personnel peut lui proposer un travail profitable, à sa mesure pour qu'il puisse surmonter l'obstacle détecté. Les exercices proposés jouent dans ce cas un rôle rectificatif.

5.5.3.2. Structure de la pile "Dossiers"

La pile "Dossiers" est constituée de deux parties distinctes. La première fournit des informations générales sur l'ensemble des résultats de tous les étudiants qui ont travaillé sur le simulateur. Cette partie consigne les notes, la fréquence de passage dans un bloc donné du logiciel, le nombre de fois où l'étudiant a fait un croisement donné. Cette unité est également conçue de manière à permettre à l'enseignant une localisation rapide des difficultés de la classe ou de certains élèves et de faire un suivi adéquat. La première partie n'est accessible qu'à l'enseignant. La deuxième partie, dite spécifique, donne des informations détaillées sur les apprentissages d'un étudiant particulier. Elle renseigne sur :

- les résultats obtenus tant au niveau des conclusions qu'au niveau des exercices et des problèmes ;
- les croisements réalisés et les réponses formulées pour prédire les probabilités phénotypiques de la descendance issue des croisements effectués ;
- la fréquence de passage dans les différentes unités du didacticiel ;
- la durée totale consacrée à chacune des sections du simulateur.

5.5.3.3. Démarche pour consulter la pile "Dossiers"

Au moment où l'utilisateur demande à consulter son dossier, l'ordinateur lui réclame son code afin de ne lui permettre l'accès qu'à son dossier personnel et non à ceux de ses pairs. Seul le professeur peut, à l'aide d'un code particulier, examiner l'ensemble des dossiers des étudiants.


5.5.4. La pile des "Concepts"

Cette pile est conçue pour permettre aux étudiants de s'informer sur des concepts inconnus ayant un lien avec la génétique. L'étudiant a accès à cette pile à partir de n'importe quel endroit du logiciel. En cliquant sur le bouton "Concepts", l'ordinateur l'amène à la première page-écran qui renferme un lexique de concepts. Lorsque l'étudiant clique sur une notion donnée, il y reçoit une information qui est souvent accompagnée d'illustrations et/ou d'exemples. La (figure 30) de la page suivante présente un exemple de concept. Si l'étudiant veut continuer sa recherche, deux possibilités lui sont offertes : soit qu'il clique sur le bouton "Retour" pour revenir au lexique et, de là, refaire le même cheminement qu'avant, soit qu'il clique sur l'étoile (*) identifiant un autre concept. Une fois la consultation est terminée, l'étudiant active le bouton "Retour" présent sur la carte lexique, ce qui le ramène à son point de départ initial dans lequel il se trouvait avant d'aller à la pile "Concepts".


Phénotype

Phénotype: n.m. (du grec phainein, paraître et tupos qui veut dire empreinte ou marque).
Ensemble des caractères visibles d'un individu.
Le phénotype est l'expression, au niveau du corps, du message porté par les gènes *.

Ne pas confondre entre phénotype et génotype *.




souris grise



souris blanche

Le phénotype des souris c'est:
la couleur du pelage.


Retour

Cliquez sur l'étoile (*) pour connaître la signification des autres mots.

Figure 30 : Exemple d'une page-écran de la pile "Concepts"

5.6. Les modifications possibles à apporter au simulateur

Les modifications qu'on peut apporter au simulateur sont mineures et portent sur le contenu pédagogique, le contenu des messages interactifs et les critères de réussite des évaluations.

5.6.1. Modifications au niveau du contenu pédagogique

L'endroit le plus simple où l'enseignant peut intervenir pour changer le contenu c'est au niveau de la pile des "Concepts". Il peut soit ajouter de nouvelles notions ou en soustraire d'autres. La démarche à suivre est la suivante.

Lancez la pile "concepts" en cliquant deux fois de suite dessus; appuyez simultanément sur les touches "Pomme" et "M" et tapez dans la boîte de message "Set the userLevel to 5", ensuite tapez dans cette boîte "Show menuBar". La barre des menus s'affiche, et dans le menu "Outils" sélectionnez l'outil champ. Si vous savez utiliser la palette des outils, procédez aux modifications en libérant le texte champ, si non consulter un livre d'HyperCard sur la manière d'ouvrir les zones de dialogues des champs, des boutons et des cartes.

Ajoutez le titre du concept que vous désirez intégrer dans le champ "index" ; verrouillez le texte du champ et cliquez sur le concept situé juste au dessus du titre que vous venez d'ajouter. Dans la nouvelle page-écran, choisissez dans le menu édition "copier la carte". Et dans le même menu, choisissez "coller la carte". Il vous semblera que rien ne s'est produit. Détrompez-vous, il y a maintenant dans cette pile deux cartes identiques qui se succèdent et qui ont le même nom. Dans le menu "objets", choisissez "Informations sur la carte". Une zone de dialogue apparaît, changez le nom de la carte en tapant le titre du concept ajouté dans le champ lexique. Il faut que ce nom soit exactement identique au titre que vous venez d'ajouter au lexique, si non l'ordinateur ne pourra pas repérer cette carte. Fermez la zone de dialogue et, dans le grand champ, saisissez le texte qui explique le concept, ensuite écrivez le titre dans le petit champ. Retournez à la première carte, en cliquant sur le bouton "retour". Vérifiez si votre opération a réussi en cliquant sur le concept que vous avez additionné dans le lexique. À la fin, choisissez dans le menu fichier "quitter HyperCard".

5.6.2. Modifications au niveau du contenu des messages

Très souvent les utilisateurs se plaignent de ne pas comprendre ce qu'on exige d'eux. Les messages apparaissent ambigus, pas assez explicites. Seuls les professeurs peuvent mieux connaître le niveau de compréhension de leurs étudiants. La démarche pour apporter des modifications aux messages et aux consignes se résume ainsi :

lorsque vous repérez un message qui ne convient pas aux étudiants, arrêter l'exécution du programme en appuyant simultanément sur "Pomme" et "." (point). Faites apparaître la boîte de messages à l'aide des touches "Pomme" et "M" et écrivez "Set the userLevel to 5". Ouvrez les scripts de la pile et cherchez les lignes commençant par "Answer". Ce sont ces lignes qui contiennent les messages. Changez le texte situé entre les guillemets "". Les messages se trouvent non seulement dans le script des piles, mais aussi dans celui des fonds, des cartes, des champs et des boutons.

5.6.3. Modifications des critères de réussite

Les notes attribuées aux étudiants sont situées au niveau des conclusions de chaque laboratoire ainsi qu'au niveau de la pile des exercices et problèmes.

5.6.3.1. Modifications des critères de réussite au niveau des conclusions

Nous donnons ici un exemple pour illustrer la façon de procéder pour modifier les critères de réussite au niveau des conclusions. Ces critères sont gérés par deux procédures.

La première se trouve dans le script "*On mouseUp*" du bouton "*correction*". Elle soustrait 10 points à chaque erreur. On peut modifier ce barème au niveau de la ligne suivante: `subtract 10 from cd fld "point1"`.

La deuxième se trouve dans la procédure "*On choixÉlève*" située dans le script de la carte. Elle accorde 100 points à une réponse exacte et 0 pour une réponse erronée. On peut modifier cette note au niveau de la ligne suivante : `put "?"&return&"100" into cd fld "point2"`.

5.6.3.2. Modifications des critères de réussite au niveau des exercices

La procédure qui gère les critères de réussite et l'attribution des notes aux exercices est logée dans le script de la pile "*Exercices & problèmes*", elle s'intitule "*On boutonCorrection*". Les modifications peuvent se faire au niveau de la ligne suivante : `subtract round (0.8 * (100 div the number of lines of cd fld "ref")) from noteCourante`


Ainsi, en modifiant le rapport 8/10 (0.8), l'enseignant peut changer les critères de réussites.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les choix techniques et informatiques qui nous ont permis de développer le simulateur à l'état de prototype. Le prototype est constitué de plusieurs unités. Nous avons assigné à cinq (5) d'entre elles le rôle de laboratoires où l'utilisateur peut mener, à volonté, des expériences sur des caractères héréditaires variés. Deux (2) autres unités ont le mandat de consigner la trace des utilisateurs et d'enregistrer les données et les résultats générés tout au long de leurs activités, il s'agit de la pile "*Données*" et de la pile "*Dossiers*". Pour évaluer si l'étudiant intègre les concepts et les lois probabilistes

de la génétique mendélienne, nous avons construit une pile composite renfermant une série d'exercices et de problèmes appartenant aux principales lois de Mendel. Par ailleurs, nous avons annexé au prototype une pile "*concepts*" qui permet à l'utilisateur de consulter, au besoin, certains concepts clés appartenant au domaine de la génétique. Toutes ces unités sont sous le contrôle d'une pile maîtresse intitulée la "*principale*". C'est celle-ci qui initialise les variables et les fonctions globales et c'est elle qui vérifie la trace de chaque étudiant qu'il soit un nouvel utilisateur ou ayant déjà travaillé avec le système.

Le prototype étant élaboré, il nous reste à le soumettre, selon les étapes proposées par le modèle de Nonnon (1987), à deux mises à l'essai. D'abord, la mise à l'essai fonctionnelle qui sera conduite au laboratoire par des personnes ressources "experts". La deuxième est la mise à l'essai empirique que nous allons mener auprès d'un groupe d'élèves. Ces deux étapes font l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE 6
MISES À L'ESSAI FONCTIONNELLE ET EMPIRIQUE



Suite à l'élaboration du prototype, et conformément au devis de notre recherche et aux étapes du modèle de développement proposé par Nonnon (1987), nous avons soumis le didacticiel à deux mises à l'essai.

La première, dite fonctionnelle, a été conduite au laboratoire. Elle visait à vérifier le fonctionnement du simulateur "*Génétique*" à l'état de prototype et de la documentation qui lui est afférente en vue de les améliorer sur le plan opérationnel et esthétique. Cette phase s'est déroulée en trois étapes :


- mise au point d'une grille d'appréciation du simulateur ;
- déroulement de la mise à l'essai fonctionnelle ;
- propositions et modifications apportées au simulateur et à la documentation.

La deuxième mise à l'essai, dite empirique, consistait à soumettre le simulateur à un groupe d'étudiants représentant le public-cible. Son but est de recueillir des données sur des aspects didactiques et techniques, ce qui nous permettra de faire un retour critique sur le produit concret de la présente recherche, à savoir: "concevoir et élaborer un simulateur interactif permettant une approche inductive pour appréhender les lois probabilistes de la génétique mendélienne".

La mise à l'essai empirique s'est déroulée selon le plan suivant :

- recrutement des étudiants participants et d'un animateur ;
- séance d'information ;
- déroulement de la mise à l'essai empirique ;
- résultats de la mise à l'essai empirique ;
- retour critique sur le matériel élaboré.

Ce chapitre expose le déroulement des deux mises à l'essai et analyse les résultats générés par chacune d'elles. Il se termine par un retour critique sur le matériel élaboré (simulateur et documents d'accompagnement).



6.1. Mise à l'essai fonctionnelle

Divers travaux nous invitent à mettre en oeuvre des révisions systématiques tout au long du processus de l'élaboration de tout produit didactique en phase de développement (Demaiziere et Dubuisson, 1989 ; Gerard et Roegiers, 1994 ; Gingras, 1989 ; Lauterbach et Frey, 1987 ; Loiseau, 1987 ; O.C.D.E, 1989). De l'avis de ces auteurs, ces révisions sont déterminantes tant pour l'orienter que pour le réguler. Nonnon (1986, p. 62) écrit, à son tour, que "la mise à l'essai fonctionnelle est le dernier test d'une série de tests qui ont été réalisés sur les différentes parties du prototype au cours de sa construction". À la lumière de ces idées, et avant même de soumettre l'outil à la mise à l'essai fonctionnelle, nous avons consulté, de manière informelle, des personnes-ressources pour vérifier si le simulateur ne présentait pas de lacunes et s'il était protégé contre toute utilisation pernicieuse. Leurs critiques constructives et leurs aides précieuses nous ont permis d'apporter les réajustements qui s'imposaient.

Pour conduire la mise à l'essai fonctionnelle, nous avons utilisé une grille d'appréciation que devront utiliser les "experts" pour apprécier la fonctionnalité du matériel élaboré (prototype et documents d'accompagnement).

6.1.1. Grille d'appréciation du prototype

Comme le développement d'un instrument d'évaluation est une tâche fastidieuse qui dépasse le cadre de la présente étude, nous avons utilisé une grille d'évaluation déjà existante en l'adaptant à notre "simulateur".

Bégin et Leclerc (1985) identifient quatre équipes qui ont déployé des efforts notables pour élaborer des outils d'évaluation de logiciels éducatifs. Ces groupes sont le "*National Council for Teachers of Mathematics*" (NCTM) ; "*Educational Product Information Exchange*" (EPIE) ; le projet "*Northwest Regional Educational Laboratory*" connu sous le nom de "*Microcomputer Software and Information for Teachers*" (MicroSIFT) et "*Computer Technology Project*" du département de l'éducation de la province de l'Alberta au Canada.

Le projet albertain s'inspire étroitement des trois approches américaines. Les projets américains EPIE, NCTM et MicroSift centrent leur évaluation autour de quatre axes principaux qui sont :

- la pertinence et la validité du contenu ;
- les caractéristiques pédagogiques ;
- les aspects techniques ;
- la documentation d'accompagnement.

En examinant d'autres travaux qui semblent plus près de nos préoccupations, nous avons identifié que le "guide d'évaluation des logiciels éducatifs" élaboré par le Ministère de l'Éducation du Québec (1994) est assez exhaustif et ne diffère guère des quatre projets cités ci-dessus. Ce document comprend trois outils intégrés : un guide d'évaluation ; une grille d'évaluation et un bordereau qui permet de résumer et de coter les observations suite à l'examen du matériel. La démarche d'évaluation se divise en cinq grandes catégories qui sont: la pédagogie ; la conformité au programme d'études ; la facture du logiciel ; la documentation d'accompagnement et la pertinence du médium.

Cet instrument a considérablement influencé notre travail pour plus d'une raison. Tout d'abord, il s'agit d'un document rédigé en français, ce qui nous évite des pertes de temps inutiles de traduction. Ensuite, ce document est une synthèse intéressante des projets américains dont il a été question auparavant. Enfin, la troisième raison c'est que cet outil dissocie clairement les aspects pédagogiques des aspects techniques et le soutien à l'apprentissage. En plus, il accorde une importance particulière à la démarche pédagogique suggérée par le didacticiel.

Avant de soumettre cette grille aux "experts" nous lui avons apporté quelques changements afin de l'adapter à nos besoins. Bien qu'elles soient mineures, ces modifications se résument soit à la suppression de certains énoncés qui ne convenaient pas à notre outil, soit à la reformulation d'autres items pour mieux les accommoder au type de didacticiel que nous avons développé. Parmi les énoncés qui furent totalement supprimés de la grille, nous indiquons :

- existe-t-il un tutoriel sur le fonctionnement du logiciel ?
- le logiciel offre-t-il à l'utilisateur des configurations spécifiques lors de la saisie et du traitement des données ?

Ceux qui ont été reformulés pour mieux les adapter à notre simulateur, nous trouvons par exemple : l'enseignant peut-il modifier le contenu en des temps raisonnables ? Cet énoncé fut changé par : l'enseignant peut-il modifier le nombre d'exercices et de problèmes suggérés par le logiciel ?

Suite à ces réarrangements, nous présentons en annexe (annexe 3) la grille d'évaluation qui fut adoptée pour la mise à l'essai fonctionnelle.

6.1.2. Déroulement de la mise à l'essai fonctionnelle

La mise à l'essai fonctionnelle a eu lieu à l'automne 1994, en présence de professionnels, dont la plupart oeuvrent dans le monde de l'éducation.

6.1.2.1. Recrutement des "experts"

Les participants furent invités à contribuer à cette mise à l'essai fonctionnelle au moment où nous étions chargé de superviser les stagiaires "futurs-maîtres" dans des écoles secondaires situées sur l'île de Montréal. L'équipe des professionnels (annexe 4), constituée en majorité de professeurs de disciplines scientifiques avaient pour tâche de nous livrer leurs critiques et leurs réflexions sur divers aspects du logiciel. Nous devions les informer au préalable des modalités et des objectifs de la mise à l'essai fonctionnelle.

6.1.2.2. Séance d'information

L'objectif de la séance d'information a été de fournir aux participants les renseignements nécessaires et de répondre à leurs questions concernant le projet de recherche et le déroulement de la mise à l'essai fonctionnelle. À cette occasion, on leur communiqua le but et

les objectifs de cette étape, le déroulement prévu et le type de participation attendu. Au terme de cette séance, et pour garantir le sérieux de cette phase, tous les "experts" signifièrent leur intention de participer à cet exercice.

6.1.2.3. Mise à l'épreuve fonctionnelle du prototype

Le prototype a été mis à l'épreuve dans le laboratoire du pavillon Marie-Victorin de l'Université de Montréal qui est équipé d'une trentaine de Macintosh de type Centris 660 Av. Pour des raisons de commodité et afin de permettre aux experts de travailler chacun sur un ordinateur, la responsable du laboratoire a mis à notre disposition huit (8) ordinateurs durant les quatre (4) fins de semaine prévues à cet effet. La fin de semaine fut choisie parce qu'elle convenait à la disponibilité des "experts", mais aussi parce que le laboratoire était moins fréquenté par les étudiants universitaires. Lors de la première séance, qui a duré deux (2) heures, les professionnels ont, eux-mêmes, installé le logiciel sur le disque dur et ont pris le temps de le découvrir et de l'explorer en vue de se familiariser avec son fonctionnement. Les trois séances suivantes, dont la durée moyenne était de deux (2) heures chacune, ont permis aux "experts" de travailler avec le didacticiel et de compléter la grille d'évaluation.

6.1.3. Modifications apportées au prototype

Des suggestions enrichissantes et plusieurs critiques constructives nous furent livrées par les professionnels. À la lumière de ces commentaires, nous avons changé l'emplacement de quelques boutons et champs dans quelques pages-écrans afin d'améliorer la présentation visuelle. Certaines commandes, qui gèrent le pilotage du simulateur, furent également améliorées.

6.1.3.1. Présentation visuelle

Les "experts" ont jugé que la présentation visuelle à l'écran serait meilleure, en changeant le site de certains boutons, principalement les boutons d'action et de navigation. Les premiers sont manipulés plus fréquemment que les seconds et seraient mieux distingués s'ils étaient centrés en bas de la page-écran. Les boutons de navigation sont, par contre,

moins sollicités et peuvent être placés en périphérie en bas de la page-écran. Parmi les objets repositionnés, on trouve :

- Le bouton "*vérification*" qui conduit l'étudiant de la phase expérimentale à l'étape de la vérification. Ainsi, dans n'importe quel laboratoire, l'utilisateur peut manipuler ce bouton autant de fois qu'il y a d'expériences à réaliser sans aucun risque.

- Les boutons "*Concepts*" et "*Dossier*", qui mènent respectivement à la consultation des concepts et à la consultation des résultats, sont moins opérés par l'utilisateur. C'est pourquoi nous avons changé leur endroit en les plaçant à la périphérie de la page-écran, ce qui offre à l'usager une vision plus aérée de la page-écran.

- Le champ des consignes, qui apparaît à la demande de l'utilisateur en actionnant le bouton "*Consignes*", masquait des informations importantes notamment le tableau des résultats. En diminuant sa surface et en réduisant le contenu de ses messages, nous avons réussi à améliorer la présentation visuelle afin que l'usager puisse disposer de toute l'information pertinente même lorsqu'il fait appel à des consignes.

En effet, ces améliorations permettent à l'apprenant de mieux se situer sur l'espace page-écran et lui évite, en même temps, d'exciter des boutons par négligence.

6.1.3.2. Pilotage et navigation de l'utilisateur dans le prototype

Dans sa version initiale, le système ne permettait à l'utilisateur de passer d'un laboratoire à un autre que lorsqu'il aurait complété définitivement celui dans lequel il travaillait. Cette approche fut volontaire de notre part dans le but de respecter le principe d'une progression hiérarchique logique, permettant ainsi à l'utilisateur d'intégrer graduellement les lois probabilistes de Mendel. Si les "experts", surtout les biologistes, ont souligné la pertinence de cette démarche, ils ont toutefois noté qu'il serait préférable de laisser libre choix à l'utilisateur de passer du laboratoire 1 "*monohybridisme*" au laboratoire 5 "*Hérédité liée au sexe*". Pour justifier leur proposition, ils ont souligné les liens conceptuels qui existent entre ces deux modules. En effet, le laboratoire 5 traite lui aussi de cas d'hérédité avec un seul

caractère héréditaire. Tenant compte de ces remarques, nous avons ajouté une option supplémentaire à la fin du module 1, de manière à permettre à l'utilisateur de passer directement du laboratoire 1 au module 2 ou au module 5, sans l'obliger de faire les étapes intermédiaires comprises entre le premier et le cinquième laboratoire.

Par ailleurs, nous avons amélioré certaines procédures en vue d'épargner à l'utilisateur des opérations répétitives et inutiles. C'est le cas par exemple de la procédure "*reproduction*", qui affiche les images de la descendance et dresse les résultats statistiques issus de chaque croisement. Cette procédure, fut dotée d'une fonction qui offre le choix à l'usager soit de déclencher lui-même la génération des rejetons ou de laisser l'ordinateur exécuter le déclenchement de manière automatique.

La mise à l'essai fonctionnelle nous a apporté des informations significatives quant à la pertinence de notre design pédagogique. Ainsi, sur le plan du contenu, il semble que notre présentation n'avait pas besoin de modifications importantes si ce n'est que quelques améliorations syntaxiques et la correction de certaines fautes d'orthographe.

Enfin, la forme et le fond des documents d'accompagnement destinés tant à l'enseignant qu'à l'étudiant ont été jugés suffisants et furent révisés pour les améliorer. On trouvera en appendice (annexe 5) le guide d'utilisation du professeur. Les guides destinés à l'élève seront annexés au présent travail après la mise à l'essai empirique.

Malgré leur pertinence apparente, certaines suggestions furent rejetées parce qu'elles impliquaient l'emploi de techniques de laboratoire plus laborieuses qui auraient pu diminuer le degré de cohérence du logiciel et, par conséquent, son intelligibilité. C'est le cas, notamment, de deux experts qui ont proposé d'intégrer au simulateur une phase pré-expérimentale où l'étudiant pourra réaliser lui-même l'élevage des *Drosophiles*, contrôler la reproduction de cet élevage et isoler les rejetons après leur apparition. Bien que plus probante sur le plan pédagogique, cette idée suppose un travail complexe de la part du concepteur et risque de dévier l'intérêt des utilisateurs des finalités visées par cet environnement didactique. L'objectif de l'outil, rappelons-le, est plutôt centré sur l'intégration des lois probabilistes de la génétique formelle de Mendel et non sur le développement d'habiletés à manipuler des outils de laboratoire. De tels simulateurs sont déjà présents, c'est le cas notamment de

"Drosolab" qui initie l'étudiant à préparer le milieu de culture, à commander les différentes races de Drosophiles auprès du fournisseur, à les introduire dans des flacons d'élevage, à observer l'émergence de nouveaux adultes (imagos), à les endormir avec de l'éther pour les manipuler (dénombrer les rejetons, à distinguer les mâles des femelles et à identifier si le caractère héréditaire est lié ou non aux chromosomes autosomiques). À notre avis, cette activité ne méritera tout son intérêt sur le plan pédagogique que si elle s'effectue avec du matériel biologique vivant, avec de réelles mouches.

En somme, la mise à l'essai fonctionnelle a permis d'apporter des améliorations notables à la version initiale du simulateur à l'état de prototype et aux documents d'accompagnement, ce qui confère à l'ensemble des aptitudes à subir un second test, celui de la mise à l'essai empirique.

6. 2. Mise à l'essai empirique

La conduite d'un projet de recherche, particulièrement sur le terrain, est soumise à diverses circonstances incontrôlables qui peuvent surgir à tout moment et changer, par conséquent, le trajet initial du déroulement et des échéanciers prévus. Ce fut le cas pour ce projet. Notre première préoccupation a été de trouver un milieu scolaire qui présentera les conditions favorables pour nous permettre de mener à terme la mise à l'essai empirique. Le plan initial prévoyait de conduire cette étape dans le centre pédagogique régional de Rabat (C.P.R) puisque nous y avons enseigné la didactique des sciences pendant plus de six (6) ans, nous connaissons le corps enseignant qui exerce dans cet établissement et aussi le directeur du centre. Nous anticipions que ces avantages allaient nous faciliter la tâche. Nous prévoyions également trouver dans ce centre l'équipement informatique dont nous aurions besoin pour la réussite de notre entreprise. Mais le centre ne pouvait mettre à notre disposition que quatre (4) ordinateurs qui, de plus, n'étaient pas de type Macintosh, c'est pourquoi nous avons réorienté notre plan initial en faisant des démarches auprès de l'École Normale Supérieure (E.N.S) de Takadoum de Rabat pour obtenir un équipement convenable et suffisant de même qu'un local approprié pour mener à terme cette étape de la recherche. Cet établissement a mis à notre disposition le laboratoire d'informatique qui est équipé, entre autres, de cinq (5) ordinateurs macintosh de type LC : 3 LCII et 2 LCIII.

Une fois cette étape franchie, nous avons entamé la mise à l'essai empirique. Comme mentionné précédemment, la mise à l'essai empirique fut conduite en cinq (5) étapes : recrutement des étudiants participants et de l'animateur (6.2.1) ; séance d'information (6.2.2) ; la mise à l'essai empirique proprement dite (6.2.3) ; résultats générés par la mise à l'essai (6.2.4) ; retour critique sur le matériel didactique produit (6.2.5).

6.2.1. Recrutement des étudiants participants et de l'animateur

Les étudiants qui ont participé à la mise à l'essai empirique furent recrutés en septembre 1995. Sur les 78 élèves ayant répondu à une annonce affichée sur les babillards du lycée Takadoum situé en face de l'E.N.S, nous avons retenu 30 élèves représentant un groupe d'étudiants du public-cible. Tous ces étudiants sont inscrits au baccalauréat marocain, option sciences-expérimentales. Par souci d'efficacité dans notre démarche, les candidats qualifiés devaient être disponibles, en dehors de l'horaire scolaire habituel, au moins une fois par semaine à raison de 60 à 75 minutes⁶. Cette exigence stabilisa le groupe à 5 filles et 6 garçons, soit en tout 11 participants.

Pour les fins de cette étude, il était moins important de faire participer un échantillon représentatif du public-cible que de rassembler des étudiants enthousiastes, prêts à contribuer efficacement à la mise à l'essai empirique. Les onze (11) étudiants retenus ne sont pas considérés comme des sujets, tel que suggéré par les modèles de la recherche expérimentale, mais en tant que participants à l'étude dans le but de faire valoir les mérites du simulateur interactif et des documents d'accompagnement.

Malgré la relative simplicité d'utilisation du logiciel, nous avons jugé que la présence d'un animateur était nécessaire lors de la mise à l'essai. L'animateur choisi pour encadrer les étudiants fut recruté parmi le corps enseignant de l'école normale supérieure de Takadoum. Il nous fut suggéré par le directeur de l'E.N.S, mais c'est aussi une personne que nous connaissions depuis fort longtemps. Titulaire d'une maîtrise en didactique des sciences, obtenue à l'Université Laval au Québec, l'animateur gère le laboratoire d'informatique de

⁶ - Soit environ le quart du temps d'une période régulière réservée aux laboratoires réels de biologie au niveau du baccalauréat marocain "Sciences-expérimentales".

l'E.N.S où il initie les enseignants du secondaire à de multiples utilisations de l'ordinateur comme support pédagogique.

L'étape de recrutement fut suivie par une séance d'information où les onze (11) élèves retenus et l'animateur étaient présents.

6.2.2. Séance d'information

L'objectif de cette séance a été d'informer tous les participants sur la nature du projet de la recherche et les étapes de la mise à l'essai empirique. À cette occasion, nous leur avons communiqué le but du projet, le déroulement prévu et le type de participation attendu. On fit valoir également les bénéfices qu'ils pourraient retirer de cette expérience: développements de nouvelles habiletés, initiation à la recherche et contribution à des pratiques pédagogiques dans le système scolaire marocain. Cette séance fut aussi l'occasion de présenter l'animateur aux étudiants et de leur préciser sa tâche. Gagné et *al.* (1988) dans leur récent travail sur le design pédagogique, nous suggèrent que l'intervention ponctuelle de l'animateur et sa présence rassurante auprès des apprenants favorisent l'apprentissage de façon positive. Le rôle de l'animateur consistait à répondre aux demandes d'aide, à stimuler les interactions, à livrer un *feed-back* aux participants et aux équipes et à noter les faits pertinents qui nous serviront de points de repère pour réajuster notre outil. Nous avons constitué les équipes selon les disponibilités des étudiants, mais aussi en fonction du nombre limité d'ordinateurs disponibles. Cette opération a permis de former trois équipes comme l'indique le tableau suivant (TABLEAU I). En les séparant en trois petits groupes, il devint également plus facile de vérifier continuellement le travail qu'ils exécutaient.

Équipe1	Équipe2	Équipe3
lundi	mardi	mercredi
E1: Ali	E5: Ahmed	E8: Aïcha
E2: Fatiha	E6: Hassan	E9: Najat
E3: Lahcen	E7: Sihame	E10: Khalid
E4: Salma		E11: Salah

TABLEAU I : Composition des équipes pour la mise à l'essai empirique

Cette première rencontre a permis aux utilisateurs de se familiariser avec l'équipement. Elle fut aussi le moment pour leur soumettre un questionnaire en vue de recueillir quelques informations portant sur leurs expériences antérieures avec l'ordinateur, leurs connaissances en génétique, les pré-requis relatifs à ce champ disciplinaire, leurs attentes et leurs intérêts à l'égard du projet en cours. Le tableau suivant (TABLEAU II), résume leurs caractéristiques.

Caractéristiques des sujets		Équipes			Total
		1	2	3	
moyenne d'âge = 18 ans					
nombre des sujets par équipe		4	3	4	11
nombre des garçons et des filles par équipe	garçons	2	2	2	06
	filles	2	1	2	05
jours des activités pendant la semaine		lundi	Mardi	Merc.	3 jours/ semaine
prérequis: connaissance de la biologie cellulaire; de la fécondation et des mécanismes de la division cellulaire "mitose" et "meiose"		4	3	4	11
connaissance de la génétique et des lois de Mendel		0	0	0	0
expérience antérieure sur ordinateur	utilisation occasionnelle	2	1	1	04
	connaissance des logiciels-outils	2	1	2	05
	connaissance de la programmation	1	0	1	02
accès à l'ordinateur en dehors de l'école	oui	2	1	1	04
	non	2	2	3	07

TABLEAU II : caractéristiques des étudiants participants à la mise à l'essai empirique

Sans faire une analyse exhaustive des données qui caractérisent ces étudiants, notons tout simplement que ces chiffres évoquent certains faits qu'il semble utile de souligner ici. Bien que nous n'exigions d'eux aucune connaissance en informatique, ces données révèlent que 7 des 11 étudiants, soit environ 65%, ont une assez bonne connaissance de l'ordinateur. Si aucun n'a déclaré avoir des notions en génétique, tous ont par contre dit qu'ils avaient les préalables nécessaires pour mieux intégrer les notions en génétique.

Les raisons évoquées pour justifier leur participation au projet relevaient largement de l'intérêt qu'ils portaient à utiliser l'ordinateur comme support d'apprentissage et à la perspective d'être initiés à la recherche scientifique. Un argument qui fut souligné par la majorité des participants, c'est leur intérêt de se familiariser avec la résolution de problèmes en génétique à l'aide d'un support informatique. À ce titre, il nous semble utile de souligner que l'examen de biologie au baccalauréat marocain comporte au moins deux épreuves en génétique. La première, est une question d'analyse et d'interprétation ; la seconde est généralement sous forme d'un problème à résoudre en génétique.

6.2.3. Déroulement de la mise à l'essai empirique

La mise à l'essai empirique s'est déroulée du 18 septembre au 22 novembre 1995 à l'E.N.S de Takadoum de Rabat. Nous choisissons l'exemple de l'équipe 3 pour décrire une séance type de cette mise à l'essai. Ce groupe fréquentait le laboratoire une fois par semaine, soit le mercredi en fin de journée, après les cours scolaires réguliers. La période de travail ne dépassait pas 75 minutes. Avant le début des séances, l'animateur et l'auteur du présent travail préparaient la salle et allumaient les ordinateurs. Dès leur arrivée, certains étudiants se rendaient immédiatement à leur poste de travail et se mettaient aussitôt à la tâche ; d'autres flânaient, regardaient ce que faisaient leurs pairs, posaient des questions ou formulaient des commentaires. Selon leurs choix, ils travaillaient individuellement ou par groupe de deux. Le travail par binôme fut privilégié afin de favoriser les échanges entre les étudiants tout en leur permettant une participation dynamique. Chaque élève disposait du guide d'utilisation et d'un cahier d'activités. Ces documents ont été constamment rangés près des postes de travail. Tout au long des séances, nous avons compté sur le rôle actif de l'animateur⁷ qui circulait d'un poste de travail à l'autre, prenait des notes, encourageait les étudiants dans leur travail et répondait à leurs questions.

Pour disposer d'informations appropriées tant sur le plan qualitatif que sur le plan quantitatif, trois techniques furent exploitées. La figure de la page suivante (figure 31), résume ces trois approches.

⁷ - L'animateur a agit en tant qu'aiguilleur, de dépanneur et de contrôleur dans cet environnement soutenu par le simulateur "Génétique".

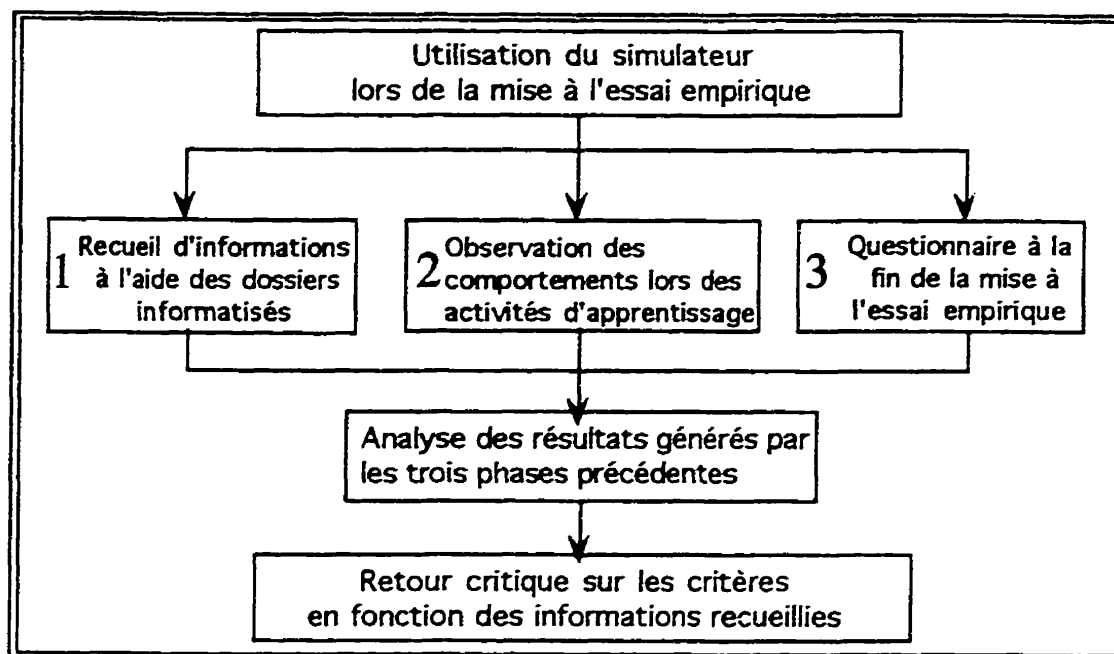


Figure 31: Étapes de la cueillette des données pour la mise à l'essai empirique

Tout d'abord nous disposons d'une unité intégrée au logiciel qui offre l'avantage de recueillir suffisamment d'indices sur les activités d'apprentissage des étudiants. Intitulée pile des "Dossiers", cette unité est conçue de manière à suivre, pas à pas, la trace des élèves, de cerner le type de difficultés auxquelles ils peuvent se heurter, d'évaluer le degré de maîtrise de certaines habiletés et de situer leurs lacunes avec précision. L'utilisateur, après consultation de son dossier personnel, peut décider de reprendre certaines expériences, de procéder aux corrections, d'approfondir une section particulière. Aussi, dès qu'un usager pénètre dans le système, celui-ci lui crée un dossier personnel identifié par son nom et par son code d'accès. Pour respecter la confidentialité des résultats et grâce au code d'accès individuel, l'étudiant ne peut examiner que son dossier, sans le détruire ou modifier son contenu. Cette mesure est destinée à préserver l'intégrité des données et des résultats qui se construisent progressivement. Nous abordons plus loin les diverses informations susceptibles d'être analysées à partir de ces dossiers informatisés.

L'observation des comportements des participants pendant les séances de travail est une autre forme d'appréciation du matériel. Cette approche fut utilisée par des études similaires à la nôtre (Bordeleau, 1994 ; Demaiziere et Dubuisson, 1989 ; Loïselle, 1987). Nous

développons plus loin cette phase et nous précisons les aspects qui ont fait l'objet de nos observations.

Enfin, au terme de la mise à l'essai, et pour compléter la cueillette des données, nous avons soumis aux participants un questionnaire afin de sonder leurs opinions sur divers points ayant trait à l'utilisation du logiciel, aux apprentissages réalisés et aux difficultés rencontrées.

6.2.4. Résultats générés par la mise à l'essai empirique

Il nous semble important de souligner que l'objectif de cette étude, y compris celui de cette mise à l'essai empirique, n'est pas de démontrer une supériorité quelconque du simulateur "Génétiq" sur d'autres types d'environnements pédagogiques. Notre objectif n'est pas non plus de comparer les mérites de l'ordinateur par rapport à d'autres média d'enseignement. À l'aide de la mise à l'essai empirique, nous voulons repérer les points forts et les points faibles du didacticiel en vue de faire un retour critique sur les principes directeurs ayant conduit à l'élaboration du matériel didactique (simulateur et documents de soutien).

En combinant les trois techniques décrites auparavant, nous escomptons récolter des résultats dans le but d'améliorer l'ensemble du matériel didactique. Il nous semble pertinent de présenter ces résultats dans les sections subséquentes.

6.2.4.1. Résultats fournis par les dossiers personnels informatisés

Les résultats fournis par les dossiers des étudiants sont présentés selon l'ordre chronologique du déroulement des activités. De sorte que le retour sur les principes directeurs obéira non pas à l'ordre avec lequel ils furent formulés dans le chapitre 3, mais suivra la progression modulaire du didacticiel.

Outre le nom, le prénom et le code de l'étudiant, chaque dossier contient les éléments suivants :

- la date à laquelle l'étudiant a créé son dossier ;
- les différents croisements réalisés par l'utilisateur ;
- les anticipations choisies pour prédire les proportions phénotypiques et génotypiques probables de la descendance issue de chacun des croisements réalisés ;
- les génotypes des parents sélectionnés dans chaque croisement ;
- la fréquence de passage dans chacune des unités du système ;
- la note obtenue dans chaque bloc du laboratoire ;
- le temps alloué à chacune des expériences des deux blocs du laboratoire ;
- la note obtenue dans la conclusion et le temps consommé pour la compléter ;
- la note et la durée pour résoudre les problèmes de chaque module ;
- la note moyenne dans tout le module et le temps total alloué à l'ensemble de chacun des cinq (5) laboratoires.

Il ressort de cette liste que les éléments susceptibles de nous livrer des informations précises sur la performance des étudiants sont, d'abord et avant tout, les notes et le temps alloué aux activités prescrites par le logiciel.

Ainsi, les travaux construits par les participants seront analysés, à la fois comme produit (notes et temps) et comme processus (choix des croisements ; analyse des résultats statistiques générés par le simulateur ; élaboration concise des conclusions et application exacte des lois probabilistes de Mendel dans la résolution de problèmes). La note et le temps sont deux facteurs qui ont l'avantage de fournir des indices sur le degré de réussite des activités et qui mettent en lumière le type de contraintes rencontrées par les étudiants.

Parallèlement aux travaux sur le simulateur, nous avons demandé aux élèves de consigner leurs résultats dans leur cahier d'activités. Cette consigne fut respectée malgré le peu de temps consacré à l'ensemble de la mise à l'essai.

Sans négliger les caractéristiques communes à tous les logiciels éducatifs, la priorité fut accordée aux critères spécifiques du simulateur. Aussi, nous avons centré notre intérêt sur les aspects liés à la démarche pédagogique des utilisateurs, à l'interactivité usager-machine et au fonctionnement du logiciel. Les critères analysés avec plus de soin sont :

- facilité d'utilisation du didacticiel ;
- fiabilité du didacticiel en le manipulant normalement ;
- apprentissage de type inductif avec droit à l'erreur, où l'utilisateur peut mener des expériences à volonté ;
- impact de l'évaluation formative pour permettre à l'étudiant de corriger ses erreurs et sa capacité à élaborer les conclusions ;
- évaluation sommative personnalisée empêchant le plagiat et respectant les conditions d'un examen contrôlé ;
- consultation, en tout temps, de l'unité qui gère les travaux des apprenants ;
- contrôle du déroulement et du rythme d'apprentissage pour respecter la progression individuelle de chaque apprenant ;
- intégration des lois de Mendel grâce au modèle simplifié exprimant le phénomène étudié ;
- uniformité des conventions, des symboles et des modes d'interaction ;
- consolidation des savoirs grâce, à la fois, à la simulation du phénomène et à la résolution de problèmes ;
- utilisation adéquate des documents d'accompagnement pour y trouver l'aide nécessaire.

Les tableaux en annexe (annexe 6) présentent les résultats obtenus par les participants dans chacun des cinq (5) laboratoires. Le tableau de la page suivante (TABLEAU III) résume les résultats dans l'ensemble des activités liées aux cinq (5) laboratoires. Eu égard à l'objectif de la mise à l'essai et compte tenu de la taille très réduite des participants, l'analyse des résultats sera considérée à titre indicatif seulement.

Codes	Identification des étudiants	Laboratoire1		Laboratoire2		Laboratoire3		Laboratoire4		Laboratoire5		TOTAL	
		Note	Temps	Note	Temps	Note	Temps	Note	Temps	Note	Temps	NoteT	TempsT
434	E1	72	59	68	84	64	83	69	74	83	58	71	71
026	E2	79	58	66	71	82	67	78	72	85	55	78	65
657	E3	79	63	75	81	68	66	76	85	84	75	76	74
320	E4	77	59	81	72	76	80	82	87	81	78	79	75
345	E5	78	63	78	73	78	71	87	69	82	61	80	67
033	E6	84	58	78	86	70	71	84	76	81	58	79	70
990	E7	71	63	79	70	85	68	79	83	80	79	78	72
055	E8	81	64	76	74	69	78	88	68	89	62	80	69
004	E9	79	62	81	71	74	66	82	67	73	57	77	64
502	E10	80	62	79	82	79	66	72	85	84	81	79	75
027	E11	75	68	82	80	77	80	85	86	74	80	78	79
moyenne des notes et du temps		78	62	76	77	75	72	80	77	81	67	78	71

Tableau III: Résultats globaux obtenus par les étudiants lors de la mise à l'essai empirique

Les données du tableau (TABLEAU III) de la page précédente dévoilent deux faits particuliers. D'abord on peut se réjouir du fait que tous les étudiants ont complété la totalité des activités du simulateur sans qu'il y ai d'abandons. Ensuite, lors de la première activité, le didacticiel n'a montré qu'une légère faiblesse due à l'utilisation accidentelle des touches du clavier. Cette lacune fut corrigée sur le champ en neutralisant l'effet des touches du clavier. D'ailleurs, les utilisateurs n'avaient besoin que de la souris pour naviguer d'une section à l'autre et pour saisir leurs données. Depuis, cet inconvénient ne s'est plus reproduit. Ce constat nous amène à déclarer que le didacticiel est fiable lorsqu'il est utilisé normalement. Ce fait renforce, donc, un des principes ayant conduit à l'élaboration de notre simulateur. Nous le maintenons en le précisant à nouveau :

Principe : Le didacticiel est fiable lorsqu'il est utilisé normalement.

Même si l'utilisation du logiciel n'a pas exigé de connaissances en informatique, et même si la saisie des données et les déplacements d'une section à l'autre du logiciel ont été simples grâce à l'usage de la souris, il n'en demeure pas moins que certaines difficultés mineures furent décelées, surtout lors des premières séances. Les questions soulevées par les élèves, ont porté essentiellement sur la façon de dérouler les menus ou sur le sens de quelques éléments présentés à l'écran. Ces inconvénients, liés davantage aux hésitations et aux premiers tâtonnements des élèves qu'au fonctionnement du didacticiel, semblaient s'atténuer par la suite, surtout lorsque l'animateur fournissait les informations nécessaires. Ces faits justifient le maintien du principe suivant :

Principe : Le didacticiel est facile à utiliser et à manipuler

Comme il a été mentionné précédemment, nous n'avons retenu que les notes des étudiants et le temps consacré à chacune des activités. Il semble donc important de présenter les résultats relatifs à ces deux facteurs.

Les notes

Les résultats présentés par le (TABLEAU III) de la page précédente, montrent que la note totale (NoteT) obtenue dans l'ensemble des activités du simulateur par les étudiants varie

de 75% à 81%. À première vue, ces notes sont très satisfaisantes si on considère que la moyenne générale obtenue par les trois groupes d'étudiants est de 78%.

Évidemment ces données brutes ne nous apprennent pas grand chose. Elles n'indiquent pas, avec exactitude, où les étudiants ont eu des difficultés. En examinant les dossiers personnels, on constate que ces difficultés se situent au niveau de trois étapes successives: l'expérimentation, la conclusion et la résolution de problèmes.

Pour mieux comprendre l'ampleur de ces trois types de difficultés, nous proposons un exemple concret illustrant chacune d'elles. Les exemples présentés sont tirés du laboratoire 1, consacré au monohybridisme (voir tableau 1 de l'annexe 6).

Le premier type de difficultés est lié aux prédictions des proportions statistiques des phénotypes chez les rejetons. Les erreurs furent identifiées, à la fois, au niveau du bloc 1 et du bloc 2. Rappelons que le bloc 1 est réservé à des expériences sur les animaux, où l'élève est appelé à mener une série de croisements sur deux souches pures de souris qui diffèrent par la couleur du pelage. Le bloc 2 est centré sur des expériences sur les végétaux, où l'élève est convié à faire une autre série de croisements sur deux plants de lignées pures de "Belles-de-Nuit". D'après le tableau 1 de l'annexe 6, les étudiants qui ont eu une note inférieure à 30% dans les deux blocs, soit 15% dans le bloc 1 (Nb1) et 15% dans le bloc 2 (Nb2), ont fait un choix erroné dans leurs prédictions concernant les proportions phénotypiques probables de la descendance. En accouplant deux souris grises hybrides, par exemple, certains étudiants supposaient que la portée serait constituée de 100% d'individus gris. Un tel croisement donne normalement 50% de souris grises hybrides, 25% de souris grises pures et 25% de souris blanches. Les données générées par les manipulations du bloc 2 reflètent également des erreurs du même genre. Le croisement de deux Belles-de-Nuit, ayant des pétales roses, laissait croire à certains élèves que la descendance serait constituée de 100% de fleurs roses. Or, les proportions phénotypiques de ce croisement sont de l'ordre de 25% de fleurs rouges, 50% de fleurs roses et 25% de fleurs blanches, soit des rapports de l'ordre de 1/4 rouges ; 1/2 roses et 1/4 blanches.

Les données emmagasinées dans les dossiers personnels des participants, nous ont permis de comprendre l'origine de ces difficultés. En général, ce type de difficultés est intimement lié à la stratégie adoptée par l'utilisateur lors de ses manipulations. Si certains

élèves ont choisi, dès le début, de faire des croisements simples en accouplant, par exemple, deux souris grises de lignée pure ou deux souris blanches pures avant de réaliser des croisements complexes et hétérogènes; d'autres ont, par contre, uni dès le départ un couple de souris grises hybrides. Les hybrides ont la même apparence extérieure que les grises pures, mais leur génotype est différent de celui des souris grises pures. Cet exemple met en évidence chez ces étudiants des obstacles à bâtir un réseau conceptuel adéquat en génétique. Il semble qu'ils éprouvent la difficulté à nuancer entre deux concepts clés voisins en génétique, comme par exemple "*phénotype*" et "*génotype*". Les étudiants, qui ont opté dès le départ de croiser deux souris grises hybrides et supposaient que la descendance serait constituée uniquement de rejetons gris, corrigeaient leur erreur en reconduisant une autre expérience et en reformulant une seconde hypothèse, surtout lorsqu'ils s'apercevaient que leur prédiction initiale est incompatible avec les résultats statistiques observés.

Dans cette démarche, les étudiants procédaient par tâtonnement et réévaluaient leurs décisions en relançant une nouvelle expérience. À l'aide du simulateur, ils menaient leur travail qui est, toutes proportions gardées, assez proche d'un travail de chercheur. Un tel environnement favorise l'émergence d'hypothèses et la planification mentale de stratégies d'apprentissage avant même d'entreprendre toutes actions. Eu égard à ces constats, nous déclarons que notre outil respecte le principe de l'interactivité et permet un apprentissage de type inductif avec droit à l'erreur. Nous le retenons, en le précisant ainsi :

Principe : Le simulateur interactif en génétique favorise un apprentissage de type inductif avec droit à l'erreur en permettant des expériences à volonté.

Concernant les difficultés du second type, c'est-à-dire celles identifiées au niveau des conclusions. D'après le tableau 1 de l'annexe 6, les étudiants qui ont eu une note inférieure à 25% dans les conclusions des deux blocs, se trompaient soit dans le choix des gènes des parents qui déterminent l'aspect phénotypique de la descendance, soit dans leur réponse à une question à choix multiple (Q.C.M) posée à la fin de la conclusion. Cette question vérifie, en quelque sorte, si le travail accompli par l'élève est fondé sur un raisonnement logique ou s'il est le fruit du hasard. Ce fait corrobore un des principes ayant guidé l'élaboration du simulateur. Vu qu'il se confirme par cette mise à l'essai empirique, nous le retenons en écrivant:

Principe : Le didacticiel propose une évaluation formative tout au long des activités et suggère aux apprenants, au terme de chaque module, de tirer des conclusions.

Quant aux erreurs de la troisième catégorie, nous constatons (tableau 1 de l'annexe 6) que les étudiants, qui ont eu une note inférieure à 45% (Np) dans les problèmes, ne choisissaient pas les concepts exacts pour remplir les espaces vides menant à la solution complète de l'exercice. Il nous semble utile de rappeler que les exercices ne sont pas prédéterminés, mais qu'ils sont générés de façon aléatoire à l'aide d'une procédure automatisée. Cette technique est intéressante puisqu'elle empêche les étudiants de résoudre des exercices similaires. Le recours au choix aléatoire réduit en même temps le plagiat entre les utilisateurs et permet d'identifier quels types d'exercices ont été tirés au hasard et lesquels ont été résolus par tel ou tel étudiant. Avec notre système, le plagiat était impossible. Il reste cependant à vérifier, dans les situations de travail en équipe, si les étudiants qui formaient des binômes n'avaient pas échangé des informations utiles à la résolution de problèmes. Néanmoins, les dossiers des élèves ont montré que le didacticiel a agit comme prévu, en distribuant au hasard des problèmes sans que ces derniers soient identiques d'un élève à l'autre. Nous maintenons ce principe puisqu'il fut confirmé par la mise à l'essai empirique :

Principe : Le logiciel offre une évaluation personnalisée et sommative empêchant le plagiat entre les étudiants et respectant les conditions d'un examen contrôlé.

Les problèmes sont orientés vers le renforcement des connaissances déjà acquises et évaluent la performance de l'apprenant. Ils font suite à chaque module du logiciel. À eux seuls, ils peuvent nous doter d'indications précises quant aux difficultés éprouvées par l'utilisateur dans cette partie du didacticiel. À partir, uniquement, des notes obtenues dans les problèmes on peut savoir si l'étudiant a ou non intégré les principaux concepts de la génétique mendélienne.

Les dossiers révèlent que certains élèves peu performants dans certaines activités expérimentales obtiennent des résultats élevés dans la résolution de problèmes. Toutefois, ces résultats élevés ne se retrouvent pas seulement chez les sujets qui ont utilisé des procédés

rigoureux, même ceux qui ont mené leurs activités expérimentales de façon empirique ont eux aussi obtenu de bons résultats dans la résolution de problèmes.

Ces considérations confirment un autre principe directeur ayant conduit l'élaboration du simulateur. Il fut formulé ainsi :

Principe : Le logiciel intègre à la fois la modélisation du phénomène et la résolution de problèmes.

Suite à ces considérations, il est possible de souligner deux faits fondamentaux :

- même si nous avons présenté des exemples à partir du laboratoire1 pour illustrer les malaises identifiés chez certains étudiants participants, ces difficultés sont pratiquement les mêmes dans les autres laboratoires. Ceci est d'autant plus vrai qu'aucun étudiant n'a obtenu une note se rapprochant ou égale à 100% dans les cinq (5) laboratoires ;
- grâce aux dossiers individuels incorporés au logiciel, nous avons pu recueillir des informations sur le travail des étudiants et suivre la trace de chacun d'entre eux à travers les différentes sections du logiciel. Ce fait fut amplement apprécié par les élèves puisqu'ils ont consulté leur dossier personnel plus d'une fois au moment de leur passage dans un même module. Ce qui laisse croire que ce principe a sa raison d'être. Nous le précisons à nouveau :

Principe: Le didacticiel intègre une unité qui se charge d'emmagasiner les résultats et de gérer les travaux de l'apprenant. Cette unité est accessible en tout moment, pour permettre à l'utilisateur de vérifier sa progression pédagogique et ses performances.

On remarque que les résultats obtenus dans les laboratoires subséquents sont, dans l'ensemble, moins élevés que ceux du laboratoire1 (tableaux 2, 3, 4 et 5 de l'annexe 6). Diverses circonstances peuvent expliquer cet état de fait. La fin des périodes de travail amène certains élèves à répondre hâtivement en vue de terminer le plus vite possible l'activité, même s'ils avaient la possibilité de reprendre celle-ci en partie ou en totalité. D'autres, craignant

d'obtenir une note insatisfaisante, suite à une série de tentatives infructueuses, complètent l'activité sans attention. Par ailleurs, les activités du laboratoire¹ sont plus faciles que celles des autres laboratoires et les critères de notation laissent peu de marge de manoeuvre à l'élève, ce qui peut aussi expliquer le déclin des résultats dans les modules consécutifs au laboratoire¹.

La note n'était pas le seul facteur qui pouvait nous informer sur la performance des étudiants. Le temps a été, lui aussi, pris en considération pour vérifier si les élèves abordaient les sections avec le même rythme ou à des rythmes variés.

Le temps

Compte tenu que le logiciel est doté d'un chronomètre pour estimer la durée consommée par chacun des étudiants dans les cinq (5) laboratoires, le temps fut aussi un facteur crucial pour comparer le rythme d'apprentissage des apprenants.

Afin de garder une certaine homogénéité dans notre exposé, nous procéderons comme auparavant en présentant la durée consommée par les étudiants dans le laboratoire¹ tout en identifiant les obstacles qui ont amené certains d'entre eux à utiliser plus de temps que d'autres. Ensuite nous tenterons de suivre l'évolution de ce facteur à travers les autres laboratoires.

Le tableau 1 de l'annexe 6, montre que la moyenne du temps total (Temps T) consommé par les participants dans le laboratoire¹ varie de 55 à 75 minutes, soit en moyenne une heure par activité.

Les écarts de temps constatés chez les élèves, pour parcourir l'ensemble des sections du laboratoire¹, montrent que ceux qui ont investi plus que d'autres ont non seulement accompli un travail valable, mais qu'ils ont réalisé leur tâche dans un laps de temps ne dépassant pas 60 minutes. Ceux qui ont consommé plus d'une heure dans le laboratoire¹, soit qu'ils ont prolongé leur pause de quelques minutes, soit qu'ils ont consacré plus de temps pour réorganiser leur démarche ou encore parce qu'ils ont consulté la documentation

plus fréquemment. Dans toutes ces situations, le chronomètre continuait de cumuler les minutes. Cette situation fut corrigée aussitôt, de manière à permettre à l'utilisateur d'arrêter le chronomètre par un simple cliquer dans le champ du temps. Il le relance à nouveau en envoyant un double cliquer dans le même champ, de manière à ce que les minutes ne soient comptabilisées que lorsque l'étudiant travaille avec l'ordinateur. Cette modification a eu pour effet d'enrichir considérablement le contexte de la mise à l'essai empirique, puisqu'elle a permis aux étudiants de tirer pleinement profit des capacités du logiciel sans qu'ils soient pénalisés.

D'après le (TABLEAU III, p. 201), c'est à partir du laboratoire² que l'écart de temps s'accroît davantage entre les participants. Cet écart est dû à divers facteurs, notamment, à la difficulté des modules et, probablement, à une baisse d'intérêt. Mais c'est surtout à cause de l'équipement informatique, mis à notre disposition pour mener cette mise à l'essai empirique, qui a causé plus de tort que de bien aux utilisateurs. En effet, le macintosh LCII est équipé d'un processeur qui le rend moins performant et moins rapide que les LCIII.

Par ailleurs, les images en couleur "movies", qui sont des fenêtres externes contrôlées par une commande externe (XCMDs), nécessitent un support informatique puissant pour pouvoir les activer et les générer rapidement. Cette difficulté technique a obligé quelques utilisateurs à consommer plus de temps dans certains laboratoires, surtout dans les laboratoires 2 et 3, où l'ordinateur affiche une vingtaine d'images à la fois. Les étudiants qui travaillaient sur les appareils LCIII furent moins pénalisés que ceux qui ont travaillé sur les LCII. Si les experts n'avaient pas soulevé cette déficience, au moment de la mise à l'essai fonctionnelle, c'est sûrement parce que le simulateur fut installé sur des Centris 660 Av dotés d'un microprocesseur plus puissant que celui qui équipe la gamme des LC.

Cependant, la trace laissée dans les dossiers montre que, si certains étudiants ont consommé plus de temps que d'autres sans qu'ils soient confrontés à cette difficulté technique, c'est parce qu'ils ont, semble-t-il, tenté de faire plusieurs essais pour corriger leur démarche infructueuse ou pour réorienter leurs choix et, donc, pour progresser à leur rythme. Nous avons en effet privilégié ce principe lors de l'édification de notre outil. Nous retenons cet énoncé puisqu'il s'est concrétisé comme nous l'avions prévu :

Principe : Le simulateur respecte la progression individuelle de chaque apprenant, en lui permettant le contrôle du déroulement et de son rythme d'apprentissage.

En résumé, cette première approche pour recueillir des informations, nous a amené à confirmer un certain nombre de principes qui ont guidé l'élaboration de notre didacticiel. Cette approche fut bénéfique puisqu'elle nous a permis de corriger, immédiatement, quelques lacunes étroitement liées à l'aspect fonctionnel du logiciel. Enfin, elle a mis en évidence des difficultés qui ne relèvent pas du simulateur, mais qui sont plutôt du ressort de l'équipement informatique utilisé pendant la mise à l'essai empirique. Ainsi, nous avons évalué cette partie en tenant compte de la diversité des équipements puisque ceux-ci mesuraient systématiquement le temps.

Au delà des résultats fournis par les dossiers informatisés des étudiants, l'observation des comportements des utilisateurs à l'oeuvre fut aussi exploitée pour compléter et, parfois, pour nuancer les résultats récoltés précédemment. C'est ce que nous tenterons de faire brièvement dans la prochaine section.

6.2.4.2. Résultats récoltés par l'observation des étudiants

La seconde forme, à laquelle nous avons eu recours pour compléter les données de la phase précédente, consistait à observer les comportements des élèves pendant l'utilisation du matériel. Ce que nous entendons ici par matériel, c'est à la fois le didacticiel et les documents d'accompagnement. L'animateur avait reçu des consignes précises pour porter un intérêt particulier à l'un ou l'autre des participants lorsqu'il décelait un événement révélateur. Il notait les remarques, les commentaires et les réactions des élèves. L'observation n'exigeait pas de grilles formelles, néanmoins nous avons ciblé trois (3) types de comportements, il s'agissait des réactions reliées aux difficultés d'utilisation du matériel, de l'intérêt démontré par l'étudiant lors des activités et des stratégies adoptées pour mettre en oeuvre la démarche inductive.

Les difficultés liées au matériel furent évaluées à partir :

- des questions fréquemment soulevées ayant un lien direct avec le fonctionnement du logiciel ;
- des questions posées sur l'emploi du guide d'utilisation et du cahier des activités.

L'intérêt démontré par l'étudiant au cours des activités fut apprécié à partir de :

- la ponctualité lors du déroulement de la mise à l'essai ;
- l'accomplissement des tâches et de la transcription des résultats dans le cahier des activités ;
- la recherche d'informations supplémentaires pour enrichir les investigations.

Les stratégies d'apprentissage de l'élève ont été estimées en tenant compte :

- de la réalisation des expériences en allant du simple au complexe ;
- du contrôle des variables, en modifiant une à une tout en gardant les autres constantes ;
- des prédictions menant aux proportions phénotypiques exactes de la descendance issue d'un croisement donné ;
- des liens cohérents entre les prédictions, les résultats statistiques observés et les interprétations ;
- des questions pertinentes soulevées avant même d'entreprendre les expériences sur le phénomène étudié ;
- de l'identification des principes ou des lois à partir des observations ;
- de l'adoption d'un esprit critique à l'égard des conclusions ;
- des réinvestissements lors de la résolution de problèmes.

Si ces aspects ont orienté notre travail, ils n'ont toutefois pas constitué un cadre rigoureux et absolu. L'animateur et l'auteur de l'étude notaient tout événement pertinent pour alimenter la réflexion en vue de réviser le matériel didactique mis à la disposition des étudiants. Dans ce qui suit, nous exposons les différentes réactions des élèves, en commençant par celles qui sont reliées à l'utilisation du matériel proposé.

A- Comportements reliés à l'utilisation du matériel.

Dans cette catégorie, nous distinguerons les difficultés liées au fonctionnement du simulateur et celles qui ont trait à l'utilisation de la documentation d'accompagnement.

a1- difficultés liées au simulateur

Nos observations ont permis de consolider ou de remettre en question certaines décisions prises lors de l'édification des principes ayant contribué au développement du simulateur interactif.

En effet, la conception du didacticiel a nécessité plusieurs prises de décisions, notamment, en ce qui a trait au rapport fidélité/simplicité du simulateur pour présenter le phénomène étudié. Au moment de l'élaboration, nous nous sommes demandé s'il fallait opter pour un didacticiel possédant un haut niveau de fidélité, qui offrirait une représentation exacte et complète du phénomène, ou fallait-il construire un logiciel présentant une vision simplifiée du phénomène ? Rappelons que nous avons privilégié la seconde option.

Les observations recueillies lors de la mise à l'essai empirique montrent que la plupart des participants n'utilisaient pas toutes les potentialités offertes par le simulateur. Les élèves centraient davantage leurs actions sur les sections essentielles et ne faisaient qu'effleurer celles qui sont accessoires. Si certains participants n'ont pas exploré toutes les facettes offertes par le didacticiel de simulation, il semble légitime de penser qu'ils auraient omis celles qui seraient intégrées à un modèle plus complexe. Même avec un modèle simplifié, certains étudiants ont eu des difficultés à distinguer les variables principales des secondaires et à établir des relations appropriées entre les facteurs mis en jeu. Ces obstacles n'ont eu qu'un léger inconvénient sur le reste du travail des apprenants.

Si on avait édifié notre simulateur sur la base d'un modèle qui tente de représenter le phénomène de la transmission des caractères héréditaires dans toute sa globalité, nous supposons que les étudiants auraient encore plus de difficultés à établir des liens entre les variables qui régissent le phénomène étudié. Cette étude n'a pas la prétention d'accréditer cette hypothèse, mais les réactions des étudiants ont révélé que l'exploration du simulateur a été plus facile avec une représentation simplifiée qu'avec un modèle plus complexe. Donc, en faisant de la simplicité une des qualités principales de notre simulateur pour soutenir l'apprentissage des élèves, nous avons ainsi diminué les risques des difficultés d'utilisation. Les observations effectuées sur les apprenants corroborent le choix de ce principe. Ceci nous conduit à le maintenir, tel qu'il fut énoncé dans le chapitre 3.

Principe : Le simulateur est construit sur la base d'un modèle simplifié plutôt que sur un modèle compliqué pour représenter le phénomène de la transmission des caractères héréditaires.

Par ailleurs, le travail des participants a donné lieu à des réactions appuyant le choix de l'uniformité des conventions et des symboles à l'intérieur du didacticiel. Même si certains participants ne possédaient qu'une expérience rudimentaire de l'ordinateur ou n'en possédaient aucune, le logiciel n'a montré que quelques problèmes mineurs de fonctionnement, surtout lors de la première séance. Ce qui nous semble d'ailleurs tout à fait normal. Ces difficultés n'ont pas entravé sérieusement le déroulement des activités subséquentes. Les différentes sections du logiciel ont été perçues uniformes au niveau des menus, des illustrations, des couleurs, du mode d'affichage des résultats statistiques observés, des conventions et du mode de représentation du phénomène. La signification de quelques symboles, entre autres, le symbole (X) "*croisement*" n'a toutefois pas été saisi par les élèves même si son rôle est clairement décrit dans le guide d'utilisation de l'étudiant. Le signe (✓) associé à un bouton présent dans le laboratoire 5 n'a pas été, non plus, compris par les élèves, même si sa fonction est définie dans le guide et dans l'aide incorporée au logiciel. Les élèves n'avaient pas perçu que ce bouton leur permettait de construire les arbres généalogiques "*pedigree*".

En général, et comme il a été souligné auparavant, le passage d'un menu à un autre se faisait sans heurts. Les seules difficultés rencontrées ont eu lieu surtout lors de la première

séance ; alors que dans les activités subséquentes, les élèves soulignaient des similitudes de fonctionnement, comme en témoigne cette réaction émise par un participant "C'est la même chose que dans le laboratoire 1". Des étudiants ont même indiqué à l'animateur qu'ils avaient de moins en moins de difficultés à manipuler le simulateur et qu'ils éprouvaient peu de contraintes liées au fonctionnement du logiciel. Ils soulignaient particulièrement la constance au niveau du fonctionnement et de la représentation à travers les différentes sections du simulateur. Ce type de réactions, nous amène à croire que le principe suivant avait sa raison d'être. Il est donc maintenu, en le précisant à nouveau:

Principe : Le simulateur présente des conventions qui sont uniformes quant à la représentation des symboles et des modes d'interaction.

Outre le didacticiel, le matériel utilisé dans le cadre de cette mise à l'essai empirique comprenait deux (2) types de documents : le guide de l'utilisateur et le cahier des activités de l'étudiant.

a2- difficultés reliées aux documents d'accompagnement.

Bien qu'ils furent utilisés à bon escient par les élèves en leur procurant l'assistance nécessaire pour manipuler le didacticiel, les documents d'accompagnement ont toutefois posé quelques difficultés.

Même si le simulateur contient un lexique qui explique la signification de quelques concepts de base en génétique, certains participants ne prenaient pas le soin de vérifier leur désignation dans le glossaire et préféraient interroger, en premier lieu, l'animateur sur le sens de ces termes, comme par exemple : "*hétérozygote*", "*hybride*", "*allèle*", "*génotype*" ou "*phénotype*". Nous avons aussi noté, quoique rarement, que les participants finissaient par consulter ce lexique pour y comprendre la signification de ces nouveaux termes.

Certaines difficultés constatées dépassaient parfois la compréhension de termes particuliers et ne pouvaient être imputées ni au didacticiel, ni au document d'utilisation, mais découlaient de la nature même des activités suggérées dans le cahier d'activités. Certaines

tâches proposées dans ce cahier ont soulevé des interrogations ; les participants ne percevaient pas la nature de la tâche demandée. Ces questions ont trait soit au manque de précision dans l'énoncé, soit à la complexité de l'énoncé lui-même. Lorsqu'on demandait, par exemple, aux élèves de construire le pedigree de la descendance, ils demandaient s'il faut ou non trouver les proportions génotypiques probables des rejetons issus de l'union des deux parents. Cette question est implicitement incluse dans l'énoncé de l'exercice.

En dépit de l'assistance suggérée dans le cahier d'activités qui offrait des pistes exploratoires pour réussir les activités, les participants ont eu des difficultés à déterminer avec exactitude les proportions phénotypiques des descendance. Ce malaise fut constaté même chez ceux qui n'ont apparemment manifesté aucun problèmes de fonctionnement depuis le début des activités. À la fin de la période réservée au laboratoire 2, un élève, qui pourtant n'a éprouvé aucune difficulté de manipulation face au logiciel en réussissant une bonne partie des activités, affirmait qu'il comprenait le mécanisme de la transmission de deux caractères héréditaires "*dihybridisme*". Il ajoutait, par ailleurs, que le laboratoire 2 est beaucoup plus difficile que le laboratoire 1. Cette affirmation ne nous étonne pas, puisque l'étudiant est confronté à deux types de caractères portés par les gamètes (gènes) des parents. Dans le dihybridisme la répartition des proportions phénotypiques de la descendance, issue du croisement de deux parents dihybrides, est de l'ordre du $9/16$, $3/16$, $3/16$ et $1/16$; contrairement au laboratoire 1 où les proportions sont de l'ordre de $1/2$, $1/4$ et $1/4$. Les différentes combinaisons possibles de rencontre des gènes dans le dihybridisme (deux caractères héréditaires) sont deux fois plus grandes que ceux du monohybridisme (un seul caractère héréditaire).

Ce même étudiant nuance ses commentaires en enchaînant par les propos suivants: "C'est grâce aux activités proposées par le logiciel et aux indices fournis par le cahier des activités que j'ai réussi à comprendre la différence entre le monohybridisme et le dihybridisme".

Ce qui semble ressortir de cette réaction, c'est que certains participants avaient à coeur, non seulement de tirer le rendement maximum des documents d'accompagnement pour comprendre le fonctionnement du didacticiel, mais encore d'investir leurs connaissances dans

les exercices proposés dans le guide des activités. D'où la confirmation d'un autre principe directeur qui a orienté l'élaboration de notre outil. Il fut formulé comme suit :

Principe : La documentation fournit une aide technique et fonctionnelle à l'élève. Elle intègre aussi des activités d'apprentissage et suggère des pistes permettant de les réussir.

Si les documents n'ont pas été systématiquement exploités, notamment, à cause du temps limité consacré à la mise à l'essai empirique, les réactions des étudiants laissent croire, par contre, que la structure de ces manuels semblait être bien appréciée. Le rôle joué par les sections consultées paraît être perçu correctement. Ce fait, nous amène à croire que le principe ci-après fut confirmé à son tour. Il est maintenu sous sa forme initiale, comme suit :

Principe : L'organisation de la documentation est structurée, claire et facile à utiliser.

D'autres comportements ont attiré notre attention lors de cette phase, il s'agit de l'intérêt manifesté par les participants pour explorer le didacticiel.

B) L'intérêt démontré par les participants

Aucun des étudiants n'a abandonné l'expérience, ce qui laisse croire qu'ils ont fait preuve d'engagement, de responsabilité et d'autonomie. Bien entendu, nous ne prétendons pas que la manifestation de ces qualités soient tributaires uniquement de l'intérêt porté au simulateur, sauf que nous n'écartons pas, non plus, l'impact positif occasionné par celui-ci sur les élèves pour qu'ils mettent en valeur des comportements appréciables. Leur disponibilité fut en sus confirmée lorsque, au terme de la mise à l'essai, quelques étudiants ont suggéré l'ajout d'une journée supplémentaire pour qu'ils puissent, selon leurs propres termes : "Bien digérer les lois de Mendel". Cette activité supplémentaire fut annulée pour la non disponibilité du laboratoire d'informatique de l'E.N.S.

De plus, au cours de cette phase de la recherche, nous avons constaté que les étudiants qui s'y étaient engagés n'avaient, selon eux, jamais reçu de formation *ad hoc* sur les stratégies de résolution de problèmes. C'est pourquoi ils étaient, au départ, démunis devant les activités proposées par le simulateur. L'analyse des protocoles expérimentaux et des stratégies de la résolution de problèmes ont révélé que la majorité des étudiants ont franchi, ou tenté de franchir, toutes les étapes de la démarche envisagée et qu'ils ont pris conscience de l'importance de la nécessité de développer des habiletés dans ce domaine. De l'aveu de certains, les expériences pour acquérir de nouvelles notions et le réinvestissement de celles-ci dans la résolution de problèmes constituaient l'habileté la plus probante réalisée au cours de cette recherche.

De l'ensemble des constats formulés auparavant, il découle que les étudiants qui furent engagés, sur une base volontaire, ont manifesté un véritable intérêt tout au long de cette étape. C'est, semble-t-il, la perspective d'apprendre et d'explorer un nouvel outil qui fut le principal moteur de leur attraction.

En plus des difficultés reliées au fonctionnement du logiciel et de l'intérêt manifesté par les étudiants pour explorer le didacticiel, nous avons relevé d'autres comportements ayant trait cette fois-ci aux stratégies déployées par les participants lors de la mise à l'essai empirique.

C) Stratégies déployées par les étudiants

Lors des manipulations, nous avons observé que l'action des étudiants était centrée sur l'expérimentation proprement dite. L'essentiel, pour eux, consistait à varier les facteurs et à analyser les informations contenus dans les résultats générés par la simulation du phénomène. L'observation des faits, le contrôle des variables, la formulation d'hypothèses, la recherche d'informations complémentaires se faisaient au départ et pendant toute l'activité. Pour que le simulateur délivre une information, l'étudiant devait le solliciter en formulant une prédiction, choisir des variables et conduire son expérience dans les limites de certaines conditions. De façon générale, les dossiers personnels informatisés ont montré que les étudiants ont manipulé le simulateur suivant un enchaînement logique et hiérarchique. La

plupart ont franchi progressivement les modules en allant du laboratoire1 au laboratoire5, sans négliger les étapes intermédiaires.

Durant toute la période de la mise à l'essai empirique, les élèves ont montré qu'ils s'engageaient dans une démarche exploratoire personnelle. Ils établissaient leurs propres stratégies pour atteindre des buts. Et dès qu'ils se heurtaient à des contraintes pour mener leur raisonnement à terme, ils consultaient d'abord l'animateur ou interrogeaient les fonctions disponibles dans le didacticiel, notamment la fonction "*Aide et consignes*". Comme son nom l'indique, cette option contient des directives et une assistance pour débloquer des situations critiques en orientant le cheminement de l'étudiant. Cette aide, qui n'apparaît qu'à la demande de l'utilisateur, est contrôlée par une procédure qui fait en sorte que l'utilisateur ne peut l'interpeller qu'après avoir épuisé une série de tentatives infructueuses lors de sa démarche. Cette option a été volontairement conçue ainsi pour ne pas, justement, assujettir les élèves à une suite d'actions prédéfinies qui entravent la mise en oeuvre d'habiletés liées à la démarche inductive. C'est la raison pour laquelle il est légitime de déclarer que le simulateur répond au principe du contrôle sur le déroulement des manipulations. Ce principe directeur semble donc être respecté lors de la mise à l'essai. Nous le conservons, en le confirmant à nouveau :

Principe : Le logiciel de simulation offre à l'utilisateur un maximum de maîtrise sur le déroulement des opérations.

Par ailleurs, nous avons observé que les étudiants ont eu recours à des stratégies différentes pour établir des liens entre leurs prédictions et les résultats statistiques générés par l'ordinateur. Deux élèves, formant un binôme depuis le début de la mise à l'essai, échangeaient entre eux sur la manière de trouver les proportions phénotypiques probables dans le laboratoire 2. Si l'un des deux a proposé de dresser un échiquier de 16 cases, pour y répartir les génotypes de la descendance afin de déterminer les proportions phénotypiques probables, son coéquipier a suggéré, quant à lui, une autre façon menant aux résultats statistiques fournis par le didacticiel. Sa proposition fut argumentée par la construction de branchements faisant intervenir, un par un, les deux gènes portés par les gamètes des deux parents en combinant, par la suite, les différentes possibilités probables de la rencontre gamétique des géniteurs.

Pour rendre intelligible les lois probabilistes de Mendel, certains étudiants ont réussi à établir des associations entre les notions acquises en mathématiques et le domaine de la génétique. Deux étudiants s'interrogeaient s'il était utile ou non de réaliser le croisement réciproque d'un accouplement impliquant un mâle gris pur et une souris femelle grise hybride. Celui qui ne voyait aucun intérêt de faire le croisement réciproque, appuyait son idée, en expliquant à son pair, à l'aide de notions en mathématiques, que "si le résultat de la fonction $A \times B = C$ est identique à celui de l'équation réciproque $B \times A = C$, dans ce cas le résultat du croisement inverse des deux souris devrait donner le même résultat que celui du croisement direct". Cet exemple illustre l'emploi de stratégies originales pour intégrer les lois probabilistes de Mendel, en établissant des ponts conceptuels transdisciplinaires, c'est-à-dire, des concepts qui sont abordés à l'intérieur de deux ou plusieurs disciplines.

Au niveau des conclusions, nous avons identifié que certains participants décrivent des relations et apportent des éléments pertinents même s'ils sont parfois fragmentaires. Par exemple, à la question demandant "Comment expliquez-vous l'apparition d'un nouveau caractère dans la descendance ?", certains se contentent de répondre que le caractère était présent chez l'un des deux parents mais qu'il était masqué par le gène dominant. Ils arrivaient, donc, à formuler la relation de la dominance entre les allèles portés par le gène qui gouverne le caractère, sans pour autant construire de façon explicite une conclusion complète, mettant en évidence les probabilités de l'union des gamètes parentaux.

En ce qui concerne la résolution de problèmes, nous avons constaté que même si leurs solutions sont incomplètes et contiennent des erreurs, on reconnaît qu'elles sont variées, remplies d'astuces et de découvertes, qu'elles témoignent parfois d'une recherche authentique. Même si les étudiants ont acquis des connaissances fragmentaires, il n'en demeure pas moins qu'ils réussissaient à réinvestir ces notions dans des situations problématiques proposées par l'exerciseur et le cahier d'activités.

En résumé, si certaines difficultés techniques ont surgit, surtout lors de la première séance, chose qui paraît tout à fait normale, les observations ont mis en évidence chez les participants des comportements appropriés. Ils ont mis en oeuvre des stratégies personnelles, variées et constructives. Il semblerait alors que les étudiants ont donné libre cours à leur

imagination et à leur créativité pour intégrer les mécanismes qui régissent les lois probabilistes de la génétique mendélienne et pour s'approprier les notions de base en génétique.

6.2.4.3. Résultats générés par le questionnaire

Au terme de la mise à l'essai empirique, et à l'aide d'un questionnaire, les étudiants furent invités à livrer leurs opinions au sujet du matériel proposé. Ce sondage avait pour but d'appuyer, de nuancer et parfois de compléter les résultats obtenus à l'aide des deux approches précédentes.

Sans indication d'ordre apparent, nous avons divisé le questionnaire (annexe 7) en cinq (5) parties principales qui sont :

- les énoncés A1 à A11 vérifient l'adéquation de l'interactivité du didacticiel ;
- les items B1 à B7 sondent la perception des étudiants à l'égard du fonctionnement du simulateur ;
- les questions C1 à C7 vérifient si la documentation d'accompagnement est complète et adéquate ;
- les items D1 à D5 sondent la pertinence des apprentissages proposés par le didacticiel ;
- les énoncés E1 à E5 vérifient l'adéquation des stratégies d'apprentissage proposées par le didacticiel.

Deux consignes leur furent données pour compléter le questionnaire : d'abord, ils devaient encrer un des cinq (5) points constituant l'échelle de l'instrument ; ensuite ils devaient justifier leur choix en formulant des commentaires.

L'échelle de 1 à 5 du questionnaire se lit ainsi : 1 indique que le critère est apprécié avec difficulté ; 2 signifie que l'énoncé est jugé insatisfaisant ; 3 traduit une appréciation satisfaisante ; le choix 4 indique que l'item est perçu de manière très satisfaisante ; le choix 5 ne sait pas (non contributif à la moyenne).

Donc, plus la moyenne de l'énoncé tend vers le chiffre 4, plus les participants apprécient le point considéré. Quant à nous, plus cette moyenne est en dessous du score 3, plus on doit réviser le critère en question afin de l'améliorer.

En outre, plus la somme moyenne de toute la catégorie est comprise entre 3 et 4 et plus on maintiendra cette catégorie. Mais lorsque celle-ci est en dessous de 3, nous devons réviser les éléments qui ont fait défaut dans la catégorie considérée.

Les données du sondage furent compilées dans des tableaux afin de permettre une meilleure lecture. Nous les présentons en commençant par la première catégorie.

Première catégorie : l'interactivité

Le tableau de la page suivante (TABLEAU IV), révèle que la moyenne attribuée à chacun des énoncés varie de 2.27 à 4.00. La somme moyenne des onze énoncés est égale à 3.33. Ce qui signifie que les apprenants sont globalement satisfaits à l'égard de la catégorie considérée. Mais comme on vient de le mentionner, plus la moyenne d'un énoncé est inférieure à 3 et plus on doit réviser l'élément en question. C'est le cas des énoncés A2 et A9 qui ont reçu des valeurs en dessous de 3.

Les deux questions ont trait aux messages affichés à l'écran et aux renforcements destinés à l'utilisateur pour encourager ses efforts et l'inciter à continuer dans sa démarche d'investigation.

# questions (N=11)	Équipe1	Équipe2	Équipe3	Moyenne
A1	3.50	4.00	3.50	3.66
A2	2.00	2.00	3.00	2.30
A3	3.00	3.00	3.75	3.25
A4	3.00	3.50	3.50	3.30
A5	3.60	4.00	3.00	3.53
A6	4.00	4.00	4.00	4.00
A7	3.80	4.00	3.50	3.76
A8	3.60	4.00	3.80	3.80
A9	2.00	2.80	2.00	2.27
A10	3.60	4.00	4.00	3.86
A11	4.00	4.00	4.00	4.00
$\Sigma M/N (11)=$				3.33

TABLEAU IV : Perception des étudiants à l'égard des interactions avec le simulateur

Ce résultat était presque prévisible, puisque nous avons, nous-mêmes, soupçonné une redondance au niveau de certains messages. En fait, cette approche fut volontaire de notre part, car il nous semblait qu'une aide supplémentaire destinée à l'utilisateur lui serait utile pour réorienter sa trajectoire et lui donner la possibilité de débloquer des situations d'impasse.

Les commentaires des étudiants permettent de mieux nuancer l'appréciation qu'ils ont attribué à ces deux questions. Certains propos ont même confirmé nos pressentiments. Voici quelques remarques concernant ces deux (2) points jugés insatisfaisants.

À la question A2, qui se lit "*Les messages affichés à l'écran sont-ils appropriés ?*", un participant écrit ceci : "Quelques messages sont répétitifs et n'ont aucune raison d'être. C'est le cas, notamment, du message qui apparaît à la fin de chaque expérience dans les laboratoires". En effet, ce message rappelle à l'utilisateur de passer de la phase expérimentale à l'étape de l'interprétation. Mais comme ce message est déjà présent dans la fenêtre des consignes qui informent sur la procédure à suivre durant l'étape expérimentale, nous l'avons radicalement supprimé.

La question A9, qui a reçu à son tour une appréciation inférieure à 3, se lit : "*Les renforcements encouragent-ils à faire d'autres apprentissages ?*".

Les objections concernant cet énoncé sont multiples. La réaction suivante est révélatrice "*Les messages destinés à nous encourager sont parfois frustrants et stériles ; il importe de les éviter à tout prix*".

En tenant compte de cette critique, nous avons revu de fond en comble les messages interactifs. Ils ont été améliorés pour contenir des renforcements appropriés et bien adaptés à la situation. Le moment utile pour les faire apparaître fut corrigé à son tour.

Nous avons néanmoins relevé une remarque réconfortante écrite par un élève : "Ce didacticiel est très interactif et peut facilement aider l'élève sans toutefois remplacer le professeur, aussi ennuyeux soit-il". La présence d'un animateur, leur semblait normale et en quelque sorte sécurisante. Ce qui les a plus impressionnés lors de cette expérimentation, c'est l'absence de contraintes ; ils travaillaient à leur guise, selon leur rythme. Ce sont eux qui décidaient du déroulement de l'apprentissage et ils pouvaient reprendre, autant de fois qu'ils le souhaitaient, une partie mal assimilée.

Section B : le fonctionnement du logiciel

Les questions qui relèvent de cette catégorie sont au nombre de sept (7). Le tableau de la page suivante (TABLEAU V), indique que les étudiants sont plutôt favorables aux aspects liés au fonctionnement du logiciel. La moyenne totale des opinions est de 3.60. Une seule question a eu un score inférieur à 3. Il s'agit de la question B2 qui se lit comme suit : "*Le logiciel exploite-t-il les capacités graphiques de l'ordinateur ?*".

# questions (N=7)	Équipe1	Équipe2	Équipe3	Moyenne
B1	4.00	4.00	3.50	3.83
B2	2.00	3.00	2.50	2.50
B3	4.00	4.00	3.75	3.91
B4	4.00	3.66	3.80	3.82
B5	2.00	4.00	3.50	3.16
B6	4.00	4.00	4.00	4.00
B7	3.80	4.00	4.00	3.93
$\Sigma M/N (7) =$				3.60

TABLEAU V : Perception des étudiants à l'égard du fonctionnement du simulateur

Les quelques remarques et commentaires recueillis concernant ce point nous permettent de saisir le point de vue des étudiants à l'égard de cette question. Un étudiant qui formulait sa réaction, écrivait: "La représentation graphique m'a aidé à établir un lien étroit entre les images de la descendance et les résultats qui apparaissent au tableau, sauf que j'ai longtemps attendu pour observer ces images s'afficher à l'écran, surtout dans le laboratoire 2 et 3". Une autre remarque fait référence à la lisibilité des images à l'écran. Elle se lit ainsi : "J'aurai aimé comparer le nombre de chaque catégorie de phénotypes aux données statistiques du tableau, mais les images se superposaient lorsqu'elles s'affichaient à l'écran". Bien qu'elles soient spontanées et apparemment crédibles, certaines réactions n'ont pas été retenues parce qu'elles nous semblaient soit contradictoires soit incohérentes. C'est le cas, notamment, d'un élève qui écrivait que la page-écran était "trop chargée" et dans un commentaire précédent il déclarait que les menus à défilement et les icônes laissaient assez de place sur l'écran pour permettre à l'utilisateur de travailler facilement.

Suite à ces remarques, nous avons simplifié le déroulement et, dans certains cas, changé quelques procédures mineures. Nous avons amélioré la présentation visuelle à l'écran en augmentant la plage d'affichage des images, en réduisant par le fait même leur chevauchement.

Malgré le souci de concevoir un logiciel ayant une représentation, à la fois, simplifiée et dynamique tout en illustrant les "*phénotypes*" par des images colorées pour mettre en valeur

les caractères héréditaires n'a pas toujours été une tâche assez facile. Ces obstacles sont dues à la version 2.0 de l'application HyperCard qui fut adoptée pour programmer le didacticiel. Cette application n'est pas équipée de fonctions permettant de mettre à profit la couleur. Pour intégrer la couleur à notre logiciel nous avons dû faire appel à des commandes externes (XCMDs) qui sont des ressources étrangères à l'application. Au risque de nous répéter, nous soulignons, une fois de plus, que c'est la version 2.0 d'HyperCard qui n'est pas bien armée pour extraire des images en couleur d'un autre fichier pour les afficher sur l'écran. Ce malaise est moins apparent sur les ordinateurs plus performants comme les Centris par exemple. Nous notons cependant avec intérêt les réactions des élèves et nous suggérons, à notre tour, aux enseignants qui voudraient intégrer ce simulateur dans leur approche pédagogique de l'installer sur des ordinateurs plus performants. Sauf que l'avènement de nouvelles versions d'HyperCard, sur le marché, devraient offrir toutes les fonctions de base que l'on retrouve normalement dans la plupart des applications intégrées : fonctions d'édition, de calcul, de dessin, de manipulation et de représentation des données sous forme graphiques. Ces nouvelles versions devraient, semble-t-il, être capables d'importer des fichiers textes ou graphiques produits par d'autres applications sans complication.

Si les élèves ont formulé des opinions valables, il n'en demeure pas moins qu'ils ont fait, consciemment ou inconsciemment, une comparaison entre l'animation proposée par notre didacticiel et celle d'un jeu vidéo qu'on trouve dans les salles d'amusement. Dans ces jeux électroniques, le jeune est bombardé d'images agressives, d'animation graphique rapide et émouvante ; il semble légitime et, donc, compréhensible qu'ils aient été critiques envers notre programme. Notre but n'était pas d'entrer en compétition avec les jeux électroniques ; mais de créer un simulateur convivial pour mener des expériences simulées, selon une approche inductive permettant d'appréhender les lois probabilistes de la génétique formelle mendélienne.

Section C : les documents d'accompagnement.

Cette catégorie dévoile le degré de satisfaction des élèves à l'égard de la documentation d'accompagnement et du simulateur. Après compilation des données, nous constatons que la moyenne attribuée aux questions relevant de cette catégorie varie entre 2.91 et 4.

La tableau suivant (TABLEAU VI), indique que seul un énoncé fut moins apprécié par les étudiants. Il s'agit de la question C6, dont la moyenne se situe en dessous de la limite acceptable ; elle est de l'ordre de 2.91. Cette question tente de vérifier si l'organisation de l'information dans la documentation est adéquate. Les critiques livrées nous ont été d'une très grande utilité pour identifier les modifications ou les ajouts à apporter à ces documents.

# questions (N=7)	Équipe1	Équipe2	Équipe3	Moyenne
C1	4.00	3.50	3.50	3.66
C2	4.00	3.00	4.00	3.66
C3	4.00	4.00	3.75	3.91
C4	4.00	3.66	3.80	3.82
C5	4.00	4.00	4.00	4.00
C6	3.00	3.00	2.75	2.91
C7	3.80	4.00	4.00	3.93
$\Sigma M/N (7) =$				3.55

TABLEAU VI : Perception des étudiants à l'égard des documents d'accompagnement

De façon générale, même si les opinions sont partagées à l'égard de cette question, les étudiants ont apprécié les documents et ils s'en sont servis à bon escient pour, à la fois, tirer le maximum de l'outil et comprendre son fonctionnement. "À l'aide du guide d'utilisation et dès la seconde activité, le fonctionnement du logiciel n'avait plus de secret pour moi", écrivait un étudiant. Ces considérations laissent croire que le critère relatif à la conception du guide d'utilisation pour décrire le fonctionnement du logiciel est fondamental. Nous retenons ce principe, car il a sa raison d'être et nous le reformulons ici, tel qu'il a été énoncé dans le chapitre 3.

Principe : La documentation décrit ce que fait le logiciel et la façon dont il le fait, tant pour l'enseignant que pour l'élève.

Certains étudiants ont déclaré que le cahier d'activités suggère les mêmes tâches proposées par le logiciel et qu'ils auraient préféré y trouver des exercices supplémentaires pour consolider leurs apprentissages.

Des améliorations au niveau de la présentation du cahier des activités de l'élève furent apportées en ajoutant des exercices pour favoriser la démarche d'investigation et soutenir les apprentissages. Des tâches, sous forme d'exercices et de questions trouées d'espaces vides à compléter furent ajoutées. Ces espaces permettent à l'élève de consigner ses observations, ses remarques et ses réponses. Il semble qu'une telle pratique permet de faire un suivi des activités et, donc, de contribuer à la consolidation des apprentissages.

Néanmoins, malgré le sérieux démontré par les étudiants au moment où ils complétaient le questionnaire, nous avons noté des critiques contradictoires à l'égard de certains énoncés, notamment en ce qui a trait à la question C6. À preuve cette remarque formulée par un participant qui estime que les documents ne sont pas assez élaborés pour expliquer certains termes relatifs à la génétique. Pour ne pas surcharger inutilement le texte du guide d'utilisation de l'étudiant, nous n'avons pas tenu compte de cette réaction puisqu'il existe déjà un lexique intégré au logiciel qui explique les nouveaux concepts.

Même si certains participants ont consulté le guide d'utilisation pour y trouver l'aide souhaitée, la trace laissée par certains élèves dans leurs dossiers personnels, révèle que l'aide intégrée au simulateur fut elle aussi examinée pour y trouver des réponses pour dénouer les situations d'impasse. Toutefois, cette aide incorporée au didacticiel, ne fournissait pas toujours les réponses escomptées. Nous pensons donc que si l'aide détaillée trouve sa place dans le guide d'utilisation, une autre plus succincte devrait être intégrée au simulateur. Le principe directeur relatif à l'assistance qui a guidé notre entreprise se lisait comme suit :

Principe : Le guide d'utilisation doit fournir une aide technique et fonctionnelle à l'élève et à l'enseignant.

Les faits évoqués précédemment, nous ont conduit à redéfinir ce principe en le remplaçant par celui-ci.

Nouveau principe : La documentation devrait fournir une aide technique et fonctionnelle à l'élève et à l'enseignant, tout en intégrant au logiciel une assistance équivalente mais succincte, visant plutôt la complémentarité au détriment de la redondance.

Section D : les apprentissages

En plus des résultats compilés dans leurs dossiers personnels, les élèves furent appelés à livrer leurs perceptions sur les apprentissages qu'ils avaient réalisé à l'aide du didacticiel "Génétique". Les questions qui relèvent de cette catégorie sont au nombre de cinq (5). Le tableau suivant (TABLEAU VII), indique que les étudiants sont plutôt très favorables aux énoncés et croient que le logiciel permet de conduire à des apprentissages significatifs. La moyenne totale des opinions est équivalente à 3.61. Un seul énoncé a eu un score égal à 3, il s'agit de la question D1 qui se lit : "Le didacticiel a-t-il favorisé l'apprentissage des lois probabilistes sur l'Hérédité ?".

# questions (N=5)	Équipe1	Équipe2	Équipe3	Moyenne
D1	2.50	3.50	3.00	3.00
D2	4.00	3.50	4.00	3.83
D3	4.00	4.00	3.00	3.66
D4	3.00	4.00	3.00	3.66
D5	4.00	3.75	4.00	3.91
$\Sigma M/N (5) =$				3.61

TABLEAU VII : Point de vue des élèves à l'égard des apprentissages offerts par le simulateur

Deux élèves, dont les arguments sont assez éloquentes répondent à l'énoncé de la façon suivante : "Les lois de Mendel semblent être accessibles et le logiciel offre de multiples occasions pour contrôler les variables, prendre les décisions, analyser des résultats statistiques, tirer des conclusions et appliquer ces lois dans la résolution de problèmes".

Les élèves considèrent que le simulateur peut avoir un impact positif sur l'apprentissage des phénomènes héréditaires de base. L'un d'eux note que les activités mettent le phénomène de la transmission des caractères héréditaires à la portée des élèves "Avec le module 5, je pense que la plupart des élèves ont compris pourquoi ils appartiennent à tel ou tel groupe sanguin et qu'ils ont saisi comment se transmet génétiquement le facteur Rhésus Rh+ et Rh-". Cependant, il nous paraît difficile d'identifier avec précision la nature des

changements découlant de l'utilisation du didacticiel. Quelques uns ont toutefois mentionné que certaines parties demeurent plus difficiles que d'autres, il s'agit notamment du phénomène du "linkage" et celui de l'hérédité liée aux chromosomes sexuels.

Les réponses révèlent que les concepts peuvent être compris facilement et que leur transfert dans des applications peut s'effectuer avec succès. L'accueil favorable pour l'énoncé (D3), indique que les participants apprécient le didacticiel non seulement parce qu'il est un outil d'investigation et d'appropriation des connaissances, mais aussi, selon les propos d'un élève: "Il n'a pas l'air d'intimider, de juger ou de nous forcer à suivre un rythme qui n'est pas le nôtre".

La plupart des étudiants ont signifié que les laboratoires aident à nuancer entre les diverses lois de Mendel. Pour la question (D4) qui a récolté une moyenne de 3.66, un élève écrit " Même si nous n'avons pas reçu de cours théorique auparavant, je suis très satisfait de vivre une certaine complicité avec le logiciel parce qu'il m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances en génétique". Cette réaction confirme, une fois de plus, l'interactivité de notre outil pédagogique.

La résolution de problèmes en génétique a été perçue comme un moyen pour relever les défis, de réinvestir les notions acquises dans des situations problématiques où ils ont mis en oeuvre des techniques et stratégies personnelles, entre autres, observer, reconnaître des irrégularités, recourir à des problèmes similaires par analogie, à la représentation graphique et à la modélisation. Une étudiante dit : "J'ai eu l'impression que ce n'est pas appris par coeur, comme c'est toujours le cas dans nos cours donnés à l'école".

Section E : les habiletés développées

Le tableau de la page subséquente (TABLEAU VIII), informe sur le degré de satisfaction des élèves à l'égard des habiletés qui peuvent être développées par le simulateur. Après compilation des données, nous constatons que la moyenne attribuée par les utilisateurs aux énoncés varie de 3 à 4. La moyenne totale est de 3.80.

# questions (N=5)	Équipe1	Équipe2	Équipe3	Moyenne
E1	4.00	4.00	4.00	4.00
E2	4.00	4.00	4.00	4.00
E3	4.00	4.00	4.00	4.00
E4	4.00	4.00	4.00	4.00
E5	3.00	3.00	3.00	3.00
$\Sigma M/N (5)=$				3.80

TABLEAU VIII : Perception des élèves à l'égard des habiletés développées par le simulateur

Les étudiants considèrent que l'environnement pédagogique de simulation est capable de favoriser le développement d'habiletés particulières "prendre des décisions, exécuter des tâches, analyser des résultats et résoudre des problèmes". Dans certains cas, on confère aux activités un caractère dirigé à cause de la présence des documents d'accompagnement et de certaines consignes qui orientent parfois le travail des utilisateurs. Les étudiants sont en accord avec cette formule, même si elle propose des tâches prédéterminées. L'élimination des documents et des directives augmenterait, sans aucun doute, les difficultés auxquelles les élèves devraient faire face.

À ce titre, les élèves ont souligné que l'outil les a forcé à mettre en œuvre des stratégies différentes comparativement à celles qu'ils ont l'habitude d'utiliser dans leurs cours traditionnels. En d'autres mots, ils ont reçu de l'information et ont pu rendre compte de la compréhension de ces informations.

Même si les étudiants perçoivent que la méthode pour résoudre les problèmes est, à la fois, difficile et exigeante, ils ont par contre mentionné qu'elle est utile et qu'il est possible de se l'approprier malgré les difficultés qu'elle présente.

6.2.5. Retour critique sur le matériel didactique développé

Cette partie du travail vise à faire une rétrospective sur la démarche suivie pour confirmer, nuancer ou rejeter certains principes directeurs qui ont orienté l'élaboration du matériel didactique. Le matériel (simulateur et documents d'accompagnement) fut soumis à deux épreuves successives et complémentaires. Une mise à l'essai fonctionnelle et une mise à l'essai empirique.

Au terme de la mise à l'essai fonctionnelle, qui fut conduite, rappelons-le, auprès d'un groupe de professionnels, des critiques constructives et suggestions enrichissantes nous furent livrées. À la lumière de ces propositions, nous avons apporté les améliorations qui s'imposaient au prototype tant sur le plan opérationnel que sur le plan esthétique. Bien qu'elles soient pertinentes, certaines suggestions n'ont pas été retenues vue qu'elles étaient trop éloignées des objectifs du matériel élaboré. Cette première épreuve a été menée au laboratoire d'informatique du pavillon Marie-Victorin de l'Université de Montréal qui est équipé d'ordinateurs de type Centris 660 AV.

La mise à l'essai empirique, menée auprès d'un groupe d'étudiants de la septième année du secondaire marocain. Pour mener à terme cette mise à l'essai, l'établissement hôte a mis à notre disposition cinq (5) ordinateurs de type macintosh : deux (2) LCIII et trois (3) LCII.

Trois techniques furent exploitées pour récolter les données : les dossiers informatisés incorporés au logiciel, l'observation des comportements des participants et, finalement, la perception des étudiants à l'égard du matériel à l'aide d'un questionnaire. Malgré certaines complications liées à l'équipement mis à notre disposition, ces trois approches nous ont procuré des lignes de conduite pour réajuster le matériel élaboré.

Si certains résultats ont amené à envisager quelques modifications pour améliorer le simulateur et les documents d'accompagnement, d'autres ont, par contre, contribué à dégager des propositions permettant une meilleure exploitation du simulateur. Nous présentons dans les sections suivantes ces modifications suivies de quelques propositions générées par la mise à l'essai empirique.

6.2.5.1. Modifications concernant le logiciel

Les difficultés rencontrées par les participants ont suggéré des modifications au niveau du didacticiel. Des considérations pratiques nous ont incité à utiliser des symboles pour représenter quelques fonctions attribuées à certains boutons. Il nous paraît maintenant préférable d'expliquer dans l'aide intégrée au logiciel le sens de ces symboles. Une plus grande mise en évidence des messages affichés à l'écran apparaît également justifiée. La grande quantité d'information fournie par le champ "aide" masquait les données à l'écran. Cet aspect fut corrigé sur le champ. L'expérience démontre également l'importance de produire un simulateur pouvant résister aux diverses manipulations incorrectes. Quelques étudiants ont consacré une partie de leur temps à utiliser le logiciel dans tous les sens lui demandant d'exécuter des tâches incohérentes pour voir comment il allait réagir. Nous avons définitivement désactivé l'action des touches du clavier puisque l'utilisateur n'avait besoin que de la souris pour saisir ses données et pour naviguer à l'intérieur du simulateur.

Le temps, qui se comptabilisait même si l'utilisateur n'utilisait pas le logiciel, est actuellement contrôlé par l'utilisateur en agissant directement sur le chronomètre incorporé au simulateur.

Les normes régissant l'attribution des notes pour les expériences et la résolution de problèmes furent également assouplies, de façon à éviter des moments de découragement décelés chez certains élèves.

6.2.5.2. Modifications concernant les documents d'accompagnement

La mise à l'essai empirique a permis de constater que les participants ne consultaient que très peu certaines parties des documents d'accompagnement. Ils s'attardaient sur certaines sections et survolaient à peine d'autres.

a) En ce qui concerne le guide d'utilisation, nous avons allégé son contenu pour pouvoir inciter les élèves à le consulter davantage. Afin de réduire l'ampleur du contenu,

certaines tâches furent éliminées et l'information concernant le fonctionnement du logiciel sera plutôt présentée de façon plus succincte en faisant usage d'illustrations.

Par ailleurs, tenant compte des nombreuses interrogations soulevées par les élèves sur le sens de quelques symboles attribués à certains boutons, des explications furent incorporées aux documents pour traduire le sens de ces symboles. Certaines clarifications se sont avérées également nécessaires quant à la description de la marche à suivre pour tirer les conclusions. Ces clarifications furent ajoutées dans le guide d'utilisation de l'étudiant. Suite à ces modifications nous avons annexé le guide d'utilisation de l'étudiant au présent travail (annexe 8).

b) Les participants ont explicitement suggéré soit des ajouts ou des modifications au cahier des activités. Leurs propositions furent confrontées à nos observations. En effet, des précisions supplémentaires aux questions diminueraient les interprétations ambiguës attribuées à certaines tâches. Nos observations ont montré que quelques activités ont donné lieu à des réalisations hétérogènes. L'ajout de détails destinés pour mieux circonscrire la tâche nous paraît essentiel pour éviter les équivoques.

L'ajout d'autres activités, dans le guide d'activités de l'élève pour favoriser la consolidation des apprentissages, fut explicitement suggéré par les participants. Ainsi, des espaces vides furent incorporés aux questions posées dans ces activités. Ces vides encourageraient l'étudiant à consigner ses observations et ses remarques sur le déroulement de l'activité elle-même. Cette façon de faire qui répondait à une demande des participants devrait laisser plus de place à la créativité et, par les commentaires enregistrés au cours de l'activité, favoriser une discussion post-laboratoire enrichissante entre, les pairs d'un côté, les étudiants et le professeur de l'autre. La version finale du cahier d'activités de l'élève se trouve en appendice (annexe 9).

Compte tenu que certaines difficultés identifiées ne relèvent ni du simulateur ni de la documentation, mais plutôt de l'équipement informatique utilisé pour mener la mise à l'essai, ceci nous a amené à formuler quelques propositions pour l'enseignant afin de lui permettre une utilisation adéquate du simulateur "*Génétique*".

6.2.6. Propositions pour une meilleure exploitation du simulateur "GÉNÉTIQUE"

Ces propositions, au nombre de deux (2) furent intégrées au guide d'utilisation de l'enseignant.


Proposition 1 : Pour tirer pleinement profit des capacités graphiques et des illustrations en couleur présentées par le simulateur "Génétique", il serait souhaitable d'installer celui-ci sur des ordinateurs performants, comme le LCIII et au dessus. Une telle mesure éviterait des pertes de temps et des complications d'ordre fonctionnel, comme ce fut le cas lors de la mise à l'essai empirique.

Même si la plupart des activités ont été conçues pour ne pas excéder plus de soixante (60) minutes, nos observations ont révélé que certains étudiants avaient des difficultés à compléter les activités proposées dans ce laps de temps. Certaines activités exigeaient parfois plus de temps et laissaient peu de place pour aborder l'ensemble des questions suggérées. Ce qui nous a amené à formuler une seconde proposition.

Proposition 2 : Pour pouvoir donner accès à des apprentissages utiles et constructifs, il importe de mettre à la disposition des utilisateurs des conditions appropriées et une période de temps plus étendue (de 60 à 80 minutes).

Les disquettes de la version améliorée du simulateur "GÉNÉTIQUE" sont annexées au présent travail (annexe 10).

CONCLUSION




Notre recherche a porté sur la conception, l'élaboration et la mise à l'essai d'un simulateur interactif assisté par ordinateur pour favoriser l'apprentissage des lois probabilistes de la génétique mendélienne selon une approche inductive.

L'idée qui a motivé ce travail est issue de la problématique de l'enseignement et de l'apprentissage de la génétique dans les laboratoires réels. Sans prétendre faire le tour de toute la question, la première partie de cette recherche (chapitre 1) a mis en évidence quelques obstacles qui freinent la mise en oeuvre de l'expérimentation concrète en génétique et qui devrait, normalement, permettre aux étudiants d'intégrer les lois probabilistes de la génétique mendélienne.

Afin de contourner ces obstacles, nous avons proposé un simulateur interactif assisté par ordinateur dans le but de rendre possible une démarche expérimentale de la génétique dans les écoles. Ce simulateur devrait favoriser l'accès à la notion de la variabilité des fréquences phénotypiques en utilisant les statistiques et les probabilités comme outils cognitifs pour modéliser le phénomène de la transmission des caractères héréditaires.

Comme la recherche portait sur l'élaboration d'un simulateur interactif assisté par ordinateur, nous avons examiné divers modèles développementaux. Le modèle de recherche-développement proposé par Nonnon (1987) a été retenu parce qu'il répondait bien aux exigences de conception et de création de ce genre de logiciel pédagogique.

Construit à l'aide de l'application HyperCard et supporté par l'environnement Macintosh, le simulateur fut baptisé "*Génétique*". Des considérations théoriques d'ordre psychologiques et didactiques, complétées par l'examen de quelques didacticiens destinés à l'enseignement de la biologie, par l'analyse de certains rapports d'évaluation des logiciels éducatifs et de quelques grilles d'appréciation des didacticiens, ont contribué à dégager une vingtaine de principes pour déterminer la plate-forme qui a guidé la construction du simulateur à l'état de prototype et de la documentation qui lui est afférente. Ce sont ces mêmes principes qui furent exploités pour faire un retour critique sur l'ensemble du matériel élaboré (simulateur et documents d'accompagnement) en le soumettant à deux mises à l'essai : l'une est fonctionnelle, l'autre est empirique.



Nous avons orienté l'approche didactique du simulateur vers l'utilisation des méthodes quantitatives dans le traitement des données et vers la modélisation du phénomène de la transmission des caractères héréditaires chez les êtres vivants. En incorporant à notre outil le concept de la "Lunette cognitive" de Nonnon, nous avons voulu permettre à l'étudiant de synchroniser la perception de la représentation iconique (concrète) et symbolique (abstraite) des lois de la génétique. La visualisation concomitante, à l'écran, du phénomène sous sa forme concrète et abstraite devrait agir en tant que catalyseur puissant pour provoquer chez l'apprenant l'acquisition de la démarche inductive et le schème de contrôle des variables. À l'aide de cet outil, nous avons voulu amener les étudiants à identifier le(s) caractère(s) héréditaire(s) des parents à croiser, à prédire les fréquences phénotypiques probables de la descendance issue du croisement, à observer les résultats statistiques et leur fluctuation au niveau de l'histogramme des fréquences, à comparer ces résultats à leurs anticipations, à interpréter les données et à sélectionner en conséquence de nouvelles expériences à réaliser. À l'aide de cette approche, les phases du raisonnement expérimental ont été privilégiées du début à la fin des activités proposées.

La mise à l'essai fonctionnelle du simulateur "*Génétique*", à l'état de prototype, a été conduite par un groupe d'enseignants professionnels. Suite à leurs réactions et propositions, nous avons effectué les modifications qui s'imposaient. Ces modifications ont touché plus particulièrement le didacticiel. Ainsi, nous avons corrigé la présentation de l'information à l'écran et amélioré certaines procédures. C'est le cas, notamment, de la procédure logée dans le bouton "*reproduction*", qui affiche les images de la descendance, les résultats statistiques issus de chaque croisement et qui, en même temps, trace l'histogramme des fréquences phénotypiques. Cette procédure fut dotée d'une fonction qui offre, maintenant, la possibilité à l'utilisateur soit de générer lui-même les rejetons ou de laisser le soin à l'ordinateur d'exécuter cette opération automatiquement.

Sur le plan du contenu, il semble que notre simulateur avait besoin de quelques corrections syntaxiques et de légères améliorations orthographiques. Enfin, la forme et le fond des documents d'accompagnement destinés tant à l'enseignant qu'à l'étudiant ont été révisés jusqu'à ce qu'ils soient satisfaisants.

Quant à la mise à l'essai empirique, elle fut menée au Maroc auprès de onze (11) étudiants inscrits au baccalauréat marocain. Grâce à la simplicité d'utilisation du simulateur

"Génétique", nous avons pu confier l'encadrement des activités à un animateur. Son rôle consistait à répondre aux demandes d'aide, à stimuler les interactions et à noter les faits pertinents.

Pour disposer d'informations cohérentes et complètes, tant sur le plan qualitatif que sur le plan quantitatif, trois techniques furent exploitées. Selon Bordeleau (1994), le recours à des méthodes de triangulation contribue à accroître la crédibilité de la recherche. Le terme "triangulation" signifie, selon cet auteur, la collecte de données à l'aide de sources variées. Nous avons combiné trois approches en récoltant des résultats provenant : 1) des dossiers personnels informatisés incorporés au didacticiel ; 2) de l'observation des comportements des participants ; 3) de la perception des étudiants à l'égard du matériel utilisé exprimée à l'aide d'un questionnaire.

Les résultats générés par la mise à l'essai empirique ont permis de mettre en lumière les points forts et les carences des productions concrètes de cette recherche, ce qui nous a amené à réviser certains principes directeurs ayant conduit à leur élaboration. De façon plus précise, la mise à l'essai empirique du simulateur et des documents d'accompagnement a permis de vérifier :

- 1. la pertinence du simulateur "Génétique" comme support au raisonnement scientifique dans l'acquisition des lois de Mendel selon une approche inductive ;
- 2. l'efficacité de l'appropriation des lois de Mendel validée par le réinvestissement de celles-ci dans des exercices et problèmes en génétique ;
- 3. la robustesse du didacticiel dans son déroulement général qui fut estimée par sa capacité à neutraliser les manipulations incohérentes ;
- 4. l'autonomie des élèves vérifiée par une utilisation constante des documents d'accompagnement leur permettant de dénouer des situations d'impasse et de progresser sans l'aide permanente de la personne-ressource.

Le premier objectif, vérifier la pertinence du simulateur comme support au raisonnement scientifique dans l'appropriation des lois de la génétique mendélienne selon une approche inductive, fut atteint et les résultats le démontrent positivement.

L'analyse des réponses, des notes et du rythme d'apprentissage estimé par le temps consommé par les étudiants pour compléter leurs activités, a montré que les élèves ont compris la matière, qu'ils ont procédé de manière autonome et différente. C'est sans trop de surprise que nous avons relevé que les résultats variaient d'un étudiant à l'autre. Ceux qui ont adopté une approche logique et hiérarchique ont conceptualisé les lois de Mendel sans trop de difficultés. De plus, ils ont intégré facilement les principes de l'approche inductive. Même si nous n'avions pas vérifié au préalable si les étudiants possédaient ou non les bases indispensables à la démarche expérimentale, les dossiers personnels informatisés font apparaître que certains semblaient être mieux dotés d'outils cognitifs que d'autres, ce qui leur a sans doute permis de faire la transition d'une causalité directe à une causalité probabiliste qui caractérise la variabilité des fréquences phénotypiques en génétique.

Ceux qui ont obtenu une note inférieure à la moyenne (50%) semblaient être moins équipés cognitivement pour percevoir le lien entre les fluctuations des résultats statistiques observés et la distribution aléatoire des phénotypes d'une génération à l'autre. Ce que nous avons vérifié en examinant la trace de la démarche enregistrée dans les dossiers informatisés des étudiants. Cette trace nous a permis de suivre le cheminement précis de chaque étudiant et donc de reconstituer leur démarche exacte. Celle-ci nous a révélé les choix qui furent opérés sur les variables, le contrôle exercé sur ces variables, les diverses hypothèses formulées, les résultats expérimentaux obtenus et leur cohérence par rapport aux conclusions tirées. Ainsi, les dossiers personnels informatisés des étudiants qui ont eu des notes faibles nous montrent bien que ces participants n'avaient pas tenu compte de l'ordre croissant hiérarchique pour s'approprier les lois de Mendel. Ce constat nous amène à croire que cette difficulté est liée à un manque de maîtrise de la pensée formelle, de la démarche expérimentale. En effet pour permettre aux élèves une intégration adéquate des lois probabilistes de la génétique mendélienne, nous pensons qu'il serait nécessaire de s'assurer qu'ils maîtrisent d'abord la démarche expérimentale. Celle-ci peut s'acquérir facilement à travers des expériences sur des phénomènes plus simples en physique par exemple, comme la cinématique.

Cette première technique pour recueillir des informations, nous a conduit à confirmer un certain nombre de principes directeurs qui ont guidé l'élaboration de notre simulateur. Elle a été également bénéfique puisqu'elle nous a permis de corriger, instantanément, quelques lacunes intimement liées à l'aspect fonctionnel du logiciel.

La seconde technique, à laquelle nous avons eu recours pour compléter les données récoltées par les tests informatisés, consistait à observer les comportements des participants. Ces observations nous ont fourni des indices précieux pour remanier quelques aspects fonctionnels du simulateur "Génétique". En effet, celui-ci a présenté des situations anxiogènes et frustrantes dont certaines sont étroitement liées à son aspect fonctionnel, d'autres sont par contre hors de notre volonté et elles sont dues à l'insuffisance de la performance de l'équipement (Macintosh LCII) sur lequel fut installé le simulateur. Malgré ces difficultés, les étudiants ont manifesté des comportements appropriés, ce qui laisse croire que notre didacticiel est un outil riche en interactions, qu'il est orienté vers l'apprentissage et le développement d'habiletés liées à la démarche scientifique.

Les résultats au questionnaire démontrent que le matériel utilisé a été positivement apprécié par les étudiants. Le simulateur "Génétique" paraissait aux yeux de certains comme un guide éclairé à travers lequel ils ont eu confiance. Les commentaires écrits des élèves soulignent cet aspect anthropomorphique de la relation qu'ils ont eu avec le simulateur : *L'ordinateur nous force, ... nous oblige, ... nous aide à mieux comprendre, ... nous aide à mieux observer, ... nous corrige, ... nous apprend, ... nous explique, ... nous demande, ... nous contrôle, ... nous permet de recommencer, etc.* Une dernière réaction d'un élève, mérite d'être évoquée ici : *"l'ordinateur rend les choses concrètes et rapides puisqu'on peut constater tout de suite ce que nous allons obtenir comme résultats..."*.

Le profil des étudiants et la qualité de leur participation à cet exercice ont contribué largement à dégager des pistes pour améliorer le didacticiel et la documentation qui l'accompagne. Nous résumons brièvement ces modifications ci-après.

Modifications concernant le simulateur

Les lacunes reliées au fonctionnement du simulateur, les plus fréquemment rencontrées par les étudiants, furent corrigées instantanément. C'est le cas notamment de la signification de quelques symboles utilisés pour représenter le rôle attribué à certains boutons. Il était utile d'expliquer dans l'aide incorporée au logiciel le sens de ces symboles. Une plus grande clarté à l'écran semblait aussi justifiée. Le champ "aide", qui contient des consignes, masquait les données à l'écran. Cette difficulté fut corrigée sur le champ.

L'expérience a démontré également l'importance de neutraliser certaines manipulations inutiles. Quelques élèves ont consacré une partie de leur temps à utiliser le logiciel dans tous les sens, lui demandant d'exécuter des tâches incohérentes pour voir comment il allait réagir. Pour inhiber ces actions non productives, nous avons alors désactivé l'action des touches du clavier. La manipulation du simulateur a été entièrement gérée par la souris.

Dans sa version initiale, le simulateur comptabilisait le temps même lorsque l'utilisateur ne travaillait pas sur sa console, ce qui rendait son utilisation incohérente aux yeux de l'élève. Ainsi, pour associer directement le temps au processus expérimental à l'étude, nous avons donné l'opportunité à l'étudiant de contrôler la durée de ses activités.

Pour éviter des moments de découragement qui furent décelés chez certains élèves, les normes régissant l'attribution des notes, tant aux expériences simulées qu'à la résolution des problèmes, furent assouplies.

Modifications concernant les documents d'accompagnement

Rappelons que les documents d'accompagnement de l'étudiant sont de deux types : le guide d'utilisation et le cahier d'activités.

La mise à l'essai empirique a permis de constater que les utilisateurs ne consultaient que très peu ou pas du tout certaines sections du guide d'utilisation. Et lorsqu'ils le faisaient, ils s'attardaient sur certaines d'entre elles et survolaient à peine d'autres. Des améliorations ont été apportées tant au guide d'utilisation qu'au cahier des activités.

a) Pour inciter les élèves à consulter davantage le guide d'utilisation, nous avons allégé son contenu. Certaines tâches furent éliminées et l'information qui décrit le fonctionnement du simulateur est maintenant fournie de façon plus succincte.

Tenant compte des nombreuses interrogations soulevées par les élèves sur la signification de quelques symboles attribués à certains boutons, nous avons incorporé des explications au guide d'utilisation pour préciser le sens accordé à ces signes. Certaines

clarifications se sont avérées également nécessaires quant à la description de la marche à suivre pour tirer les conclusions des expériences simulées.

b) En ce qui concerne le cahier d'activités, les participants ont explicitement suggéré l'ajout d'activités supplémentaires et ont demandé des précisions reliées à d'autres qui sont déjà proposées dans ce cahier. En effet, nous avons constaté que certaines activités ont donné lieu à des réalisations hétérogènes. Des précisions supplémentaires furent ajoutées pour clarifier les questions posées dans ces activités. Ces précisions devront, mieux circonscrire l'activité et éviter les confusions.

Des espaces vides ont été associés aux nouvelles activités ajoutées. Ces vides encourageraient l'étudiant à consigner ses observations et ses remarques sur le déroulement de l'activité elle-même. Cette façon de faire qui répondait à une demande des participants devrait laisser plus de place à la créativité et, par les observations enregistrées au cours de l'activité, favoriser une discussion post-laboratoire fructueuse entre, les pairs d'un côté, les étudiants et leur professeur de l'autre.

Comme certaines difficultés identifiées, lors de la mise à l'essai empirique, ne relevaient ni du simulateur ni de la documentation, mais plutôt de l'équipement informatique utilisé, nous avons jugé utile de formuler quelques propositions dans le guide de l'enseignant qui stipulent le type d'ordinateur à utiliser ainsi que la durée optimale pour la réalisation de certaines activités. Ces propositions, au nombre de deux (2), furent également formulées à la fin du chapitre précédent (chapitre 6).

Retombées didactiques et limites de la recherche suite à la mise à l'essai empirique

Au terme de ces réflexions sur l'utilisation du simulateur "*Génétique*", il serait intéressant de faire un bilan des propos tenus jusqu'ici. Deux questions fondamentales méritent d'être soulevées : les étudiants ont-ils réellement intégré les lois probabilistes de la génétique mendélienne selon une approche inductive modélisante ? Le simulateur "*Génétique*" a-t-il favorisé chez les participants le processus de la démarche scientifique ? Pour répondre à ces questions, il convient tout d'abord de dresser les limites de cette recherche.

Limites de la recherche

Les conditions du déroulement de la mise à l'essai empirique, ainsi que la courte période pendant laquelle le simulateur fut utilisé ne permettent pas de cerner avec précision l'impact réel du simulateur "*Génétique*" sur les apprentissages effectués. Notre outil a été utilisé dans un laps de temps très limité par des élèves certes enthousiastes, mais dont certains ont plutôt consacré une partie de leur énergie à dénouer des situations d'impasse dues à la faible performance des équipements informatiques mis à notre disposition lors de la mise à l'essai empirique. Bien que les écoles soient équipées d'ordinateurs pour être utilisés notamment dans les laboratoires des sciences, leur équipement présente souvent un décalage de quelques années par rapport au matériel avec lequel les concepteurs développent des outils didactiques informatisés dans les laboratoires de recherche.

Une mise à l'essai systématique, incluant un prétest et un post-test, sur une plus grande période de temps, avec un support informatique approprié, pourrait vérifier l'acquisition de la démarche scientifique et l'appropriation des lois de Mendel. Mais cette mise à l'essai systématique ne fait pas partie de la présente recherche-développement. Ceci nous amène à souligner que la mise à l'essai empirique, comme démarche scientifique pour vérifier les principes ayant conduit à l'élaboration du simulateur et des documents d'accompagnement, comporte un avantage certain, toutefois elle ne constitue pas un point final. Il n'y a pas de période temporelle précise quant à son utilisation sur le terrain. Il n'y a que le point de saturation qui pourrait laisser entrevoir la fin d'une évaluation formative. Nous pensons donc que la création d'un produit pédagogique n'est jamais en quelque sorte définitive une fois pour toute. Elle peut s'enrichir indéfiniment sur la base de nouvelles expériences, de nouveaux essais et d'efforts de créativité pédagogique. Cette réflexion sur le processus de la mise à l'essai fait ressortir en même temps les avantages et les limites d'une telle intervention sur le terrain.

Retombées didactiques du simulateur "*GÉNÉTIQUE*"

Les travaux emmagasinés soit dans les dossiers personnels informatisés ou consignés dans les cahiers d'activités de même que les réactions des étudiants à l'égard de l'outil, nous amènent à croire que le simulateur "*Génétique*" a conduit les participants à argumenter leurs

hypothèses et à faire preuve d'une logique scientifique rigoureuse pour déterminer les causes (génotypes des parents) qui ont engendré l'apparition de tel ou tel effet (phénotypes de la descendance). Même si certains étudiants n'ont pas acquis la démarche expérimentale lors de cette courte période de la mise à l'essai, il nous semble que l'interaction qu'ils ont eu avec notre simulateur a permis de leur faire prendre conscience que les lois de Mendel sont largement tributaires de l'expression aléatoire du matériel génétique porté par les gènes parentaux, dont certains s'expriment en totalité (cas d'une dominance complète) et d'autres qui ne s'expriment que partiellement (cas d'une codominance). Plus important encore, notre outil a permis d'ébranler les représentations exclusivement déterministes que les étudiants ont des phénomènes naturels en général et que certains avaient tendance à transposer aux lois probabilistes de la génétique.

Avec ce simulateur interactif, non seulement l'erreur était permise, mais les étudiants avaient la possibilité de recommencer l'expérimentation ratée, autant de fois qu'ils le désiraient, sans qu'ils soient pénalisés par le temps et sans craindre d'altérer le matériel biologique virtuel. Le simulateur interactif "*Génétique*" a montré aux apprenants les séquences de la démarche expérimentale, l'ordre du choix des facteurs et des différentes combinaisons de leur interaction, les limites du phénomène étudié, tout en permettant les tâtonnements et l'expérimentation à l'aide d'une simulation modélisante. De plus, l'approche proposée a permis aux élèves de s'émerveiller devant le phénomène de la transmission des caractères héréditaires, de soulever des questions, de formuler des hypothèses, de trouver dans l'arsenal des méthodes la ou les approche(s) les plus pertinentes, de contrôler les limites et le degré de validité des variables, de vérifier leurs prédictions, de s'impliquer et de se responsabiliser face à la tâche. Il a offert aux étudiants la possibilité de percevoir les variables en interaction, en décomposant, en accélérant et en ralentissant les différentes étapes de la démarche expérimentale. Et tout ceci, rappelons-le, avec des phénomènes qui s'exprimaient de manière probabiliste.

Les étudiants ont exprimé leurs idées, qu'ils ont confronté à celles de leurs coéquipiers. Cet exercice est favorable à un engagement plus actif dans des démarches d'apprentissage avantageuses. À notre avis, ces échanges devraient permettre aux étudiants de corriger leurs conceptions à l'égard du phénomène de la transmission des caractères héréditaires. Ils construisent ainsi de nouvelles connaissances qui doivent se substituer peu à peu à leurs conceptions erronées. Le fait qu'ils expriment et confrontent leurs propres conceptions est

certes une condition nécessaire mais insuffisante pour les amener à dépasser les obstacles épistémologiques (Giordan et al., 1994a ; p. 34). Par contre, le fait qu'ils découvrent à travers l'action expérimentale des régularités ou des irrégularités liées au phénomène de l'hérédité, tout en exprimant leurs propres conceptions, semble encore plus fructueux pour qu'ils remettent en cause ces conceptions. C'est pourquoi, la simulation interactive, en situation d'autonomie, permet aux élèves de s'investir par le tâtonnement expérimental à la recherche de nouvelles connaissances et facilite ainsi le passage d'un niveau conceptuel à un autre plus évolué. En se posant une question et en organisant cet environnement simulé de manière à obtenir une réponse à leur questionnement est, selon nous, une stratégie efficace pour aider les étudiants à dépasser ces obstacles.

Tous ces constats, et bien d'autres encore, devraient à notre avis faire l'objet d'une étude sur le terrain avec des groupes d'étudiants plus élargis, sur une échelle de temps plus importante. D'autres recherches ou mises à l'essai systématiques sont également nécessaires pour déterminer de façon plus précise la manière d'implanter cet environnement dans les écoles et de repérer les formes d'encadrement susceptibles pour en faire une application pédagogique réussie.

Nous terminons cette conclusion en proposant quelques pistes de recherche, comme prolongement de notre étude qui, selon nous, s'inscrivent dans la suite des interrogations suscitées par l'évolution et l'amélioration du matériel concret généré par ce travail, plus particulièrement par le perfectionnement du simulateur "*Généique*".

Pistes de recherche

Comme mentionné auparavant, il serait intéressant d'approfondir la démarche de la mise à l'essai empirique dans le cadre d'une autre étude avec un prétest et un post-test pour valider plus formellement son impact sur l'apprentissage. Une telle mise à l'essai devrait permettre de confirmer nos prévisions quant au rôle que peut jouer cet environnement dans le développement de l'approche inductive surtout lorsque celle-ci est affranchie de variables probabilistes et non pas à d'une relation binaire, relevant d'une causalité déterministe classique, de cause à effet.

Il serait donc intéressant de prévoir des activités avec pour seule finalité l'acquisition d'instruments cognitifs que sont les probabilités et les statistiques. Il faudrait s'assurer au préalable que les étudiants ont déjà acquis le processus de la démarche expérimentale en biologie ou dans d'autres matières connexes, comme la physique ou la chimie. On pourrait alors, en leur présentant simultanément le phénomène sous sa forme iconique et sous sa forme probabiliste (histogramme des fréquences), comme dans la "Lunette cognitive" de Nonnon (1986), les amener à prendre conscience des lois de Mendel en même temps qu'ils acquièrent les lois statistiques et les probabilités. À l'aide de notre simulateur, et à partir d'expériences mettant en jeu le croisement d'individus portant un seul ou plusieurs caractère(s) héréditaire(s), nous pouvons conduire les élèves à observer qu'un certain événement ne se produit que lorsqu'on réalise n expériences. La probabilité de cet événement, compte tenu des résultats expérimentaux, peut alors être exprimée par la formule : $p = r/n$ rapport du nombre de cas favorables sur le nombre de cas possibles. En partant d'un grand nombre de données expérimentales, l'étudiant pourrait appliquer à ces données les méthodes de la statistique descriptive comme la moyenne, la variance et l'écart-type. Nous croyons que c'est dans une telle optique que les lois de la génétique mendélienne, les probabilités et les statistiques peuvent se rejoindre.

Sur le plan méthodologique, notre étude a dégagé un ensemble de principes qui traitent des caractéristiques propres à un logiciel de simulation et de ses documents d'accompagnement. Cet outil s'adresse principalement aux enseignants qui désirent l'intégrer à leur pratique pédagogique pour enseigner les lois probabilistes de la génétique mendélienne. À notre avis, la stratégie d'élaboration de ce simulateur présente aussi un intérêt particulier pour les concepteurs de simulateurs interactifs. Les principes suggérés fournissent des balises qui peuvent être récupérées par d'autres concepteurs de didacticiels conviviaux afin de mieux les aider à adapter l'élaboration de leurs produits à leurs besoins spécifiques. L'originalité de notre idée, qui a donné naissance au simulateur "Génétique", découle de l'utilisation des probabilités comme support mathématique à la modélisation. Nous espérons que les futures versions des logiciels éducatifs en génétique ou dans d'autres domaines connexes comme la géographie, la géologie ou la météorologie, dont certains phénomènes ne peuvent s'appréhender qu'à travers une modélisation statistique et probabiliste, vont exploiter au maximum cette idée avec si possible une synchronisation de la représentation iconique et symbolique du phénomène.

RÉFÉRENCES

ABDELJABBAR, M. (1982)- Élaboration et mise à l'essai d'une méthode d'enseignement de la biologie au Maroc. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal.

ABROUGUI, M et CLÉMENT, P. (1996)- Évolution des conceptions d'élèves de dix ans sur la génétique à la suite d'activités scolaires incluant une visite scolaire à la Cité des Enfants. Didaskalia, no 8, 1996, pp : 33-60.

AMIOT, E. (1990)- Introduction aux probabilités et à la statistique. Québec : Gaëtan Morin.

ANDERSON, J. R. (1990)- Cognitive Psychology and its Implications. New York: W.H. Freeman and Compagny.

ASTOLFI, J.-P., GIORDAN, A., GOHAU, G., HOST, V., MARTINAND, J.-L., RUMELHARD, G et ZADOUNAISKI, G. (1978) - Quelle éducation scientifique pour quelle société. Paris : Presses Universitaires de France.

ASTOLFI, J.-P., CAUZINILLE-MARMÈCHE, E., GIORDAN, A., HENRIQUES-CHRISTOFIDÉS, A., MATHIEU, J. et WEIL-BARAIS, A. (1984) - Expérimenter : sur les chemins de l'explication scientifique. Toulouse : Privat.

ASTOLFI, J.-P., GINSBURGER-VOGEL, Y. et PETERFALI, B. (1988)- La schématisation en didactique des sciences. Bulletin de Psychologie, XLI, 386, 1988, pp : 694-709.

ASTOLFI, J.-P. et DEVELAY, M. (1989) - La didactique des sciences. Paris : Presses Universitaires de France.

ASTOLFI, J.-P. (1994)- L'école pour apprendre. (3e édition) Paris : ESF éditeur.

AUDET, D. (1993)- Probabilités et statistiques (2 éd.). Québec : Gaëtan Morin.

AZERGUI, M. (1988)- Les causes d'échec des élèves à l'épreuve de biologie au baccalauréat marocain. Thèse de 3ème cycle. Belgique : Université de Liège.

BADIOU, A. (1970)- Le concept de modèle. Paris : Maspéro.

BAUDRILLARD, J. (1981)- Simulacres et Simulation. Paris : Galilée.

BARBIER, R. (1993)- Recherche en sciences de l'éducation ou/et recherche en éducation. Cahiers de la section des sciences de l'éducation. Pratique & théorie, 72, 1993, pp : 31- 46.

BARRETTE, C. et REGNAULT, J.-P. (1992)- Copilote : Plan de développement d'un système informatisé d'auto-évaluation formative, Québec : Bibliothèque Nationale du Québec.

- BARTHET, M.-F. (1988)- Logiciels interactifs et ergonomie : Modèles et méthodes de conception. Paris : Dunod.
- BASTIEN, C. (1987)- Schémas et stratégies dans l'activité cognitive chez l'enfant. Paris : Presses Universitaires de France.
- BAVEUX, I., ALCHER, M., BLONDEL, F.-M. et SALAMÉ, N. (1987)- Simulation en biologie : aide à la déduction dans le raisonnement expérimental. *In* : CURRAN, M., DUPONT, M. et SALAME, N. Bulletin de l'association des professeurs de biologie et géologie de l'enseignement public, no. 4, 1987, pp : 49-57.
- BEAUFILS, D., DUREY, A. et JOURNEAUX, R. (1987)- La simulation sur ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques. Quels aspects didactiques. *In* : GIORDAN, A. et MARTIAND, J.-L. Actes des IXème Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique, 1987, pp : 321-327.
- BÉGIN, Y. et LECLERC, M. (1985)- Évaluation de logiciels éducatifs à contenu d'enseignement "DIDACTICIELS". *In* : Ordinateur et Éducation. Cahiers de l'ACFAS, 1985, pp : 165-181.
- BESNAINOU, R. , MULLER, C. et THOUIN, C. (1988)- Concevoir et utiliser un didacticiel : Guide pratique. Paris : Ed. d'organisation.
- BITTER, G.G. et WIGHTON, D. (1987)- The Most Important Criteria Used by the Educational Software Evaluation Consortium. The Computing Teacher, Vol. 14, n° 6, 1987, pp : 7-9.
- BLONDEL, J.-M. (1984)- L'ordinateur outil de laboratoire. *In* : Communications des journées informatiques et sciences naturelles. Sévres, 18 et 19 Juin 1984, pp : 203-207. Paris : INRP.
- BLONDEL, F.-M. et SCHWOB, M. (1985)- Étude des utilisations de l'informatique dans l'enseignement des sciences physiques. Revue française de Pédagogie, 27, 1985, pp : 5-11.
- BLONDEL, F.-M. et SCHWOB, M. (1996)- Questions posées par la conception et la réalisation d'un environnement d'aide à la résolution de problèmes en chimie. Didaskalia, no 8, 1996, pp : 111-137.
- BORDELEAU, P. (1994)- Apprendre dans des environnements pédagogiques informatisés. Montréal : Les éditions Logiques.
- BRAUNSCHWEIG, B. (1984)- La simulation sur micro-ordinateur, les modèles dynamiques des systèmes. Paris : Eyrolles.
- BRIEN, R. et PAQUIN, R. (1976)- Les principes fondamentaux de l'apprentissage : application à l'enseignement. Montréal : Éditions études vivantes.

- BRUNER, J.S. (1966)- Toward a theory of instruction. Cambridge : Harvard University Press.
- BRUNER, J.S., GOODNOW, J.S. et AUSTIN, G.A. (1986)- A study of thinking. New-Brunswick : N. J, Transaction.
- BRYANT NJ. et COOTE, W.A. (1980)- "Some issues related to degrees of replication in games and simulations", *In* : Perspectives on Academic Gaming & Simulation. London : Kogan Page.
- CAILLODS, F., GÖETTELMMANN-DURET, G., RADI, M. et HDDIGUI, H. (1994)- La formation scientifique au Maroc. Conditions et options de politique. Rabat : UNESCO/M.E.N.
- CANTIN, R., LACASSE, D. et ROY, L. (1996)- intégration d'approches par problèmes en sciences. Phase I : Activité de synthèse. Québec : Bibliothèque Nationale du Québec.
- CAVERNI, J.-P. (1988) - Psychologie cognitive : Modèles et méthodes. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- CARADANT, D. (1990) - Animation, simulation et utilisation d'hypermédia : une réponse efficace pour la formation ? Journal de la Formation Continue de l'E.A.O., no. 246, 1990, pp : 12-14.
- CHADWICK, C.B. (1981) - Why educational technology is failing and what should be done to create success, *In* : Clarizio, H.F. et al., Contemporary issues in educational psychology. pp : 235-247. Boston : Allyn and Bacon.
- CHEVALLARD, Y. (1985) - La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble: La pensée sauvage.
- CLÉMENT, P. (1994) - Représentations, conceptions, connaissances. *In* : GIORDAN, A., GIRAUD, Y. et CLÉMENT, P. : Conceptions et connaissances. Berne : Peter Lang.
- D'AMOUR, P. (1990)- Un outil pédagogique pour visualiser et gérer les rapports entre les activités d'apprentissage et les objectifs du programme de mathématiques de première année du primaire. Thèse de Doctorat. Université de Montréal.
- DARLEY, B. (1994)- Proposition d'un cadre possible pour une transposition didactique de la démarche scientifique, *In* : GIORDAN, A., MARTINAND, J.-L. et RAICHVARD, D. : XVI èmes Journées Scientifiques sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles, 1994, pp : 249-254.
- DEMAIZIERE, F. (1986)- Enseignement assisté par ordinateur. Paris : OPHRYS.
- DEMAIZIERE, F. et DUBUISSON, C. (1989)- Ordinateur et enseignement professionnel. Paris : OPHRYS.

DE KLEER, J. (1977)- Multiple Representations Of Knowledge in Mechanic Problem Solver. International Joint Conference on Artificial Intelligence, 5, pp : 299-304.

DE LANDSHEERE, G. (1982)- Introduction à la recherche en éducation. Paris: Armand Colin-Bourrelrier.

DEPOVER, C. (1987)- L'ordinateur média d'enseignement. Un cadre conceptuel. Bruxelles : De Boeck-Wesmal.

DEPOVER, C. (1990)- Présentation d'une méthodologie de production d'un didacticiel de formation adaptée au partenariat. Journal de la formation continue et de L'E.A.O, no. 248, 1990, pp : 10-14.

DESAUTELS, J. (1980)- École + science = Échec. Québec : Presses de l'Université du Québec.

DESAUTELS, R. et DESAUTELS, P. (1994)- Mécanica : un environnement d'apprentissage pour la physique. In : BORDELEAU, P. : Des outils pour apprendre avec l'ordinateur. Montréal : Éd. Logiques, pp : 345 - 361.

DESAUTELS, P. (1995)- Contributions des simulations interactives à la formation fondamentale en sciences. Thèse de doctorat. Université de Montréal.

DION, M., ESCALIER, J., GIRARD, L., MARTIN, J., TEYSSIER, F. et THOMAS, R. (1983)- Biologie, Terminale D. Paris : Fernand Nathan.

DOLLE, J.-M. (1987)- Au delà de Freud et de Piaget: Jalons pour de nouvelles perspectives en psychologie. Toulouse : Privat.

DONNAY, J. et ROMAINVILLE, M. (1984)- Grille d'analyse des didacticiels. Namur : Centre O.S.E Namur.

DOYLE, J.-J. et LUNETTA, V. N. (1982)- Class, open your microcomputers, The Science Teacher, Vol. 49, no 8, 1982, pp : 24-30.

DUBÉ, L. (1990)- Psychologie de l'apprentissage (2è. édition). Québec : Presses de l'Université du Québec

DUFOYER, J.-P. (1988)- Informatique, éducation et psychologie de l'enfant. Paris : Presses Universitaires de France.

ESCARABAJAL, M.C. (1984)- Compréhension et résolution de problèmes additifs. Psychologie Française, 29, 1984, pp : 247-252.

FAYEZ, A.-J. (1983)- Mesure des habilités liées au processus scientifique chez les futurs maîtres. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal.

FISZER, J., FAVARD-SÉRÉNO, C. et LAUTHIER, M. (1984)- Une autre conception du didacticiel en biologie: Unités interconnectables. Association Enseignement Public & Informatique, 84, no 35, 1984, pp : 75-84.

FOUREZ, G. (1992)- La construction des sciences. Les logiques des interventions scientifiques. Introduction à la philosophie et à l'éthique des sciences (2è. édition). Bruxelles : DeBoeck-Wesmael.

FOUREZ, G. (1995)- Le mouvement sciences, technologies et société (STS) et l'enseignement des sciences. Perspectives, vol. XXV, no 1, 1995, pp: 27-41.

FORTIN, C. et ROUSSEAU, R. (1989)- Psychologie cognitive. Une approche de traitement de l'information. Québec : Presses de l'Université du Québec.

FORTIN, M.-J. (1990)- Contribution à l'élaboration d'une grille d'évaluation de didacticiels de langue seconde ou étrangère. Mémoire de maîtrise. Université de Laval.

GAGNÉ, R. M. (1970)- The conditions of learning (2^e éd.). New York : Holt, Rinehart and Winston.

GAGNÉ, R. M. et BRIGGS, L. J. (1979)- Principles of Instructional Design. New York : Holt, Rinehart and Winston.

GAGNÉ, R. M., BRIGGS, L. J. et WAGER, W.W. (1988)- Principles of Instructional Design (3e éd.). New York : Holt, Rinehart and Winston.

GAGO, J.M. (1991)- L'avenir de l'enseignement scientifique général. Impact : Science et société, 41, no 4, 1991, pp : 307-313.

GAUTHIER, G. (1988)- Informatique et formation : réflexion à partir d'HyperCard de Apple. Education permanente, no 93, 1988, pp : 95-121.

GERARD, F.- M. et ROEGIERS, X. (1994)- Évaluer un projet d'informatique pédagogique : une question de questions. Recherche en éducation. Théorie & pratique, no 16, 1994, pp : 35-43.

GIORDAN, A. (1978)- Une pédagogie pour les sciences expérimentales. Paris : Le Centurion.

GIORDAN, A. et DE VECCHI, G. (1987)- Les origines du savoir : Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Paris : Delachaux et Niestlé.

GIORDAN, A. et GIRAULT, Y. (1992)- Un environnement pédagogique pour apprendre : Le modèle allostérique d'apprentissage. Repères, 14, Université de Montréal, pp : 95- 124.

GIORDAN, A. (1994)- Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage. *In* : GIORDAN, A. et al. Conceptions et connaissances. Paris : Peter Lang.

GIORDAN, A. et DE VECCHI, G. (1994) - L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche" ? Nice : Z'éditions.

GIORDAN, A. et GIRAULT, G. (1994)- Utilisation des conceptions en didactique des sciences. *In* : GIORDAN, A. et al. Conceptions et connaissances. Paris : Peter Lang.

GIORDAN, A., MARTINAND, J.-L., ASTOLFI, J.-P., RUMELHARD, G., COULIBALY, A., DEVELAY, M., TOUSSAINT, J. et HOST, V. (1994a)- L'élève et/ou les connaissances scientifiques. Approche didactique de la construction des concepts scientifiques. (3è. Éd.) Berne : Peter Lang.

GIORDAN, A., GIRAULT, Y. et CLÉMENT, P. (1994b) - Conceptions et connaissances. Paris : Peter Lang.

GIORDAN, A. (1995a)- Introduction : nouveaux repères culturels et éthiques. Perspectives, vol. XXV, no 1, 1995, pp : 23-26. Paris : Unesco.

GIORDAN, A. (1995b)- Les nouveaux modèles pour apprendre : dépasser le constructivisme. Perspectives, vol. XXV, no 1, 1995, pp : 109-127. Paris : Unesco.

GINGRAS, J. R. (1989)- Elaboration d'une démarche d'évaluation d'un didacticiel à l'état de prototype. Thèse de doctorat. Université de Montréal.

GIROUARD, M. (1995)- La "Lunette cognitive" pour l'acquisition du langage graphique, son influence sur l'atteinte des objectifs terminaux des cours de physique GPY-151-2-4 à l'éducation des adultes. Thèse de doctorat. Université de Montréal.

GLASER, R. (1988)- La science cognitive et l'éducation. Revue Internationale des Sciences Sociales, 115, 1988, pp : 23-51.

GOMBERT, E. et FAYOL, M. (1988)- Auto-contrôle par l'enfant de ses réalisations dans des tâches cognitives. Revue Française de Pédagogie, 82, 1988, pp : 47-59.

GOUILLARD, G. (1986)- Analyse sémiotique appliquée à un didacticiel de simulation. Mémoire de Maîtrise. Université de Montréal.

GOUPIL, G. et LUSIGNAN, G. (1993)- Apprentissage et enseignement en milieu scolaire. Québec : Gaëtan Morin.

GREDLER, M.E. (1992)- Learning and instruction. Theory into practice. Toronto : Maxwell MacMillan

GREMY, J.P. (1988)- La simulation. Paris : Encyclopédia Universalis. Vol.14.

HEBENSTREIT, J. (1980)- Avantages (inconvenients ?) pédagogiques de la simulation sur ordinateur. Education et Informatique , no 3, Sept. 1980, pp : 12-13.

HERVÉ, R.-Y. (1993)- Développement d'un système intégré pour l'enseignement des sciences. Thèse de doctorat. Université de Montréal.

HOST, V. (1995)- Finalités de l'enseignement scientifique face aux années 2000. Perspectives, vol. XXV, no. 1, 1995, pp : 43-50. Paris : UNESCO.

HUBERT VAN BLYENBURGH, N. (1987)- Gène dans l'enseignement de la génétique. In : Giordan et al., Actes des Journées de l'Enseignement Scientifique, 9, 1987, pp : 515- 520.

HUDON, R. (1994)- Environnement pédagogique informatisé pour la visualisation de systèmes technologiques. Thèse de doctorat. Université de Montréal.

JACOBSEN, E. (1987)- Le micro-ordinateur dans l'enseignement des mathématiques et des sciences : possibilités et défis. Perspectives, vol. XIII, no 3, 1987, pp : 439-450. Paris : Unesco.

JENKINS, D.A. (1987)- The role of computers in the teaching of biology. The School Science Review, 68, 1987, pp : 687-693.

JEROME, P. (1979)- L'informatique support logique de la démarche expérimentale en sciences naturelles. Bulletin de l'association des professeurs de biologie et géologie de l'enseignement public, no 4, 1979, pp : 663-779.

JEROME, P. (1984)- Banques de données granulométriques et modélisation. In : Communication des journées informatique et sciences naturelles. Sévres ; 18/19 Juin 1984, pp : 165-176. Paris : INRP

JOHSUA, S. et DUPIN, J.-J. (1989)- Représentations et modélisations : Le "débat scientifique" dans la classe et apprentissage de la physique. Berne : Peter Lang.

JOHSUA, S. et DUPIN, J.-J. (1993)- Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. Paris : Presses Universitaires de France.

JOLICOEUR, K et BERGER, D. E. (1986)- Do we really Know What makes Educational Software Effective ? A Call for Empirical Research on Effectiveness*, Educational Technology, Vol. 26, no 12, 1986, pp : 7-11.

- JOLIVALT, B. (1995)- La simulation et ses techniques. Paris : Presses Universitaires de France.
- JOYCE, B., WEIL, M. et SHOWERS, B. (1992)- Models of teaching (4e éd.). Boston : Allyn and Bacon.
- KERR, T. S. (1996)- Technology and the futur of schooling. Chicago : University of Chicago Press.
- KOMOSKI, P. K. (1987)- Educational Microcomputer Software Evaluation: Its Challenge and its Uniqueness, In: Eurit 86, Developments in Educational Software and Courseware. Londres : Pergamon Press.
- LAPOINTE, Y. (1989)- Difficultés reliées à la résolution de problèmes de physique chez les élèves de secondaire cinq (5). Thèse de doctorat. Université de Montréal.
- LAUTERBACH, R. et FREY, K. (1987)- Les logicieles éducatifs : bilan et perspectives. Perspectives. volume XVII, no 3, 1987, pp : 419-426. Paris : UNESCO.
- LA ROCQUE, G. et STOLOVITCH, H. (1983)- Introduction à la technologie de l'instruction. Québec : éditions préfontaines.
- LASRI, A. (1983)- La compétence du professeur de sciences naturelles d'après la perception des enseignants et des élèves du secondaire au Maroc. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal.
- LEBRUN, M. (1991)- Possibilités et méthodologies d'ntégration d'outils informatiques dans l'apprentissage des sciences. Recherche en éducation. Théorie & pratique, no 7, 1991, pp : 15-29.
- LEGENDRE, M.-F. (1994)- Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de la question. Revue des sciences de l'éducation, Vol. XX, no 4, 1994, pp : 657-677.
- LEGENDRE, R. (1995)- Dictionnaire actuel de l'éducation. 2ème édition. Montréal : Guérin
- LEIGHT, J.R. (1983)- Modelling and Simulation. London : U. K.
- LE MOIGNE, J.-L. (1984)- La théorie du système général. Théorie de la modélisation. Paris : Presses Universitaires de France.
- LEONARD, F. (1988)- Les conditions d'acquisition d'une nouvelle connaissance. Revue Française de Pédagogie, 1988, 82, pp : 39-46.
- LEPLAT, J. (1984)- Les représentations fonctionnelles dans le travail. Psychologie française, 29, pp : 269-275.

- LOISELLE, J. (1987)- La simulation assistée par ordinateur pour l'enseignement de la physique. Thèse de doctorat. Université de Montréal.
- LUNETTA, V.N. et HOFSTEIN, A. (1981) - Simulations in science education. Science Education, vol. 65, no.3, 1981, pp : 243-252.
- MAHY, I. et BASQUE, J. (1984)- Guide de création des didacticiels. Montréal : Graphicor.
- MARTINAND, J.-L. (1986)- Connaitre et transformer la matière : des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND, J.-L. et GIORDAN, A. (1987)- Modèles et Simulation. *In* : Martinand, J.-L. Actes des IX Journées de Chamonix sur l'éducation scientifique. Paris : Université de Paris VII.
- MATAIGNE, B. (1985)- La documentation d'accompagnement des didacticiels : critères de production et d'évaluation . Québec : Ministère des Communications du Québec.
- MATAIGNE, B. (1987)- L'évaluation des didacticiels. Québec : Ministère des Communications du Québec.
- MEIRIEU, P. (1994)- Existe-t-il des apprentissages méthodologiques ? *In* : Alain Bentholina : Enseigner, apprendre, comprendre. France : Les entretiens Nathan.
- MEUNIER, C. et GIARDINA, M. (1990)- L'art et l'école : le décloisement à l'aide des technologies interactives. Rapport de recherche non publié. Université de Montréal.
- MEYNARD, F. (1984)- Scientifique ou scientifique ? Ordinateur et enseignement des sciences. Spectre . Vol. 13, no 3, 1984, pp : 8-10.
- MICHAUD, B. et MICHAUD, D. (1986)- L'expression et la formation par ordinateur : une méthode universelle de la scénarisation interactive. Montréal : Ed. Vezina.
- MILLOT, M.-C. (1996)- Place des nouvelles technologie dans l'enseignement de la physique-chimie. Didaskalia, no. 8, 1996, pp : 97-109.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE DU ROYAUME DU MAROC (1980)- Instructions et Programmes Officiels : Sciences-Naturelles. Rabat : Éditions Al Maârif.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC. (1994)- Guide d'évaluation de logiciels éducatifs. M.E.Q : Direction générale des services éducatifs.

- MODELL, H. (1992)- Where's the software. Computers in Life Science Education, Vol. 9, no 1, 1992, pp : 3- 18.
- NADEAU, R. et DESAUTELS, J. (1984). Epistemology and the teaching of science. Ottawa : Science Council of Canada.
- NEWELL, A. et SIMON, A. (1972) - Human problem solving. New Jersey : Prentice-Hall.
- NEWELL, A. (1980) - One Final Word. *In* : D.T. Tuma and Reif (Eds.) Problem Solving and Education : Issues in Teaching and Research.
- NGUYEN-XUAN, A. et GRUMBACH, A. (1984)- Apprendre en résolvant des problèmes. Le système humain et les systèmes artificiels. *In* : J.F. RICHARD : Résoudre des problèmes au laboratoire, à l'école, au travail. Psychologie Française, 29, 1984, pp : 235-242.
- NONNON, P. et LAURENCELLE, L. (1984)- L'appareteur-robot et la pédagogie des disciplines expérimentales. Spectre . Vol. 13, no 3, 1984, pp : 34-36.
- NONNON, P. (1986)- Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur. Rapport de recherche. Université de Montréal.
- NONNON, P. (1987)- Proposition d'un modèle de développement technologique en éducation. Document non publié. Université de Montréal.
- NONNON, P. (à paraître)- Radioscopie virtuelle. Document non publié. Université de Montréal.
- ORPWOOD, G.W.F. et SOUQUE, J.P. (1984)- L'enseignement des sciences dans les écoles canadiennes. Introduction et analyse des programmes. Ottawa : Conseil des sciences du Canada.
- O.C.D.E. (1989)- Les technologies de l'information et l'éducation : Choisir les bons logiciels. Paris : O.C.D.E.
- PAPERT, S. (1994)- L'enfant et la machine à connaître : repenser l'école à l'ère de l'ordinateur. Paris : Dunod.
- PELLETIER, M. L. et DEMERS, M. (1994)- Recherche qualitative, recherche quantitative : expressions injustifiées. Revue des sciences de l'éducation, Vol. XX, no 4, 1994, p : 757-771.
- PIAGET, J. (1969)- Logique et connaissance scientifique. Paris : Éditions Gallimard.
- PIAGET, J. (1974)- La formation du symbole chez l'enfant. Neuchatel : Niestlé
- PIAGET, J. (1975a)- De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent. Paris : Presses Universitaires de France.

- PIAGET, J. (1975b)- L'équilibration des structures cognitives. Paris : Presses Universitaires de France.
- PIDD, M. (1984)- Computer simulation in management science. Toronto : Wiley.
- PLANCHE, R. (1988)- Maîtriser la modélisation conceptuelle. Paris : Masson.
- PLANTE, J. L. (1984)- Une classification ouverte des applications pédagogiques de l'ordinateur. Vie pédagogique, 31, Juin 1984, pp : 26-29.
- RICHARD, J.-F. (1984)- La construction de la représentation du problème. Psychologie Française, 29, 1984, pp : 226-230.
- RICHARD, J.-F. (1989)- Analyse de protocoles individuels et microgénése de la représentation d'un problème. Psychologie Française, 34, 1989, pp : 207-211.
- RICHARD-MOLARD, C. (1996)- L'introduction des didacticiels "génétique" dans l'enseignement de premier cycle universitaire : Conditions d'utilisation, résultats d'observations et d'enquêtes. Didaskalia, no 8, 1996, pp : 155-173.
- ROUANET, H. (1967)- Les modèles stochastiques d'apprentissage. Paris : Gauthier-Villars.
- RUMELHARD, G. (1986)- La génétique et ses représentations dans l'enseignement. Berne : Peter Lang.
- SAADA-ROBERT, M. (1989)- La microgénése de la représentation d'un problème. Psychologie Française, 34, 1989, pp : 193-206.
- STE-MARIE, L. (1980)- Évaluation de l'enseignement des sciences au secondaire en fonction des objectifs généraux et particuliers de cet enseignement. Équipe de recherche "Evalensci". Montréal : Université de Montréal.
- SAUVE, L. (1983)- Le niveau de fidélité physique et psychologique de la simulation pour le transfert d'apprentissage. Thèse de doctorat. Université de Montréal.
- STANFIELD, W.S. (1975)- Génétique, cours et problèmes. Paris : Éditions de la Science.
- STREIBEL, M. J. (1987)- Mendel : An Intelligent Computer Tutoring For Genetics Problem-Solving, Conjecturing, and Understanding. Machine-Mediated Learning, Vol. 2, 1987, pp : 129-159.
- SEWELL, D.-F. et ROTHERAY, D. R. (1987)- Les applications de l'ordinateur dans l'enseignement. Perspectives, Vol XVII, no 3, 1987, pp : 407-415.

UNESCO (1986)- Informatics and education: A first survey of state of art in 43 countries. Paris : l'Unesco.

VAN DER MAREN, J.-M. (1995)- Méthodes de recherche pour l'éducation. Montréal : Presses de l'Université de Montréal.

VELASCO SANCHEZ, E. (1989)- Un robot pédagogique pour l'apprentissage de concepts informatiques. Thèse de Doctorat. Université de Montréal.

VERGNAUD, G. (1984) - Concept et schème dans une théorie de la représentation. Psychologie Française, 29, 1989, pp : 245- 251.

VERGNAUD, G., BROUSSEAU, G. et HULIN, M. (1987)- Didactique et acquisition des connaissances scientifiques. Actes du colloque de Sévres, Mai 1987. Grenoble : La pensée Sauvage.

VINH, BANG. (1989)- Bases psychologiques de l'initiation scientifique aux enfants de 7 à 12 ans. In : GIORDAN, A. : Psychologie génétique et didactique des sciences. Paris : Peter Lang.

VIVIER, J. (1988)- La tâche de l'élève et l'auto-contrôle. Revue Française de Pédagogie, 82, 1988, pp : 61-64.

WALLISER, B. (1977)- Systemes et modèles: Introduction critique à l'analyse des systèmes. Paris : Seuil.

ZAIM-IDRISSI, K. (1987)- La représentation de la théorie de l'évolution chez des étudiants universitaires marocains en biologie. Thèse de Doctorat. Université Laval.

Annexe 1

Instructions et programmes officiels des sciences naturelles

Royaume du Maroc

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Division des Programmes et Inspections spécialisées

SCIENCES-NATURELLES

Instruction et Programmes officiels

édition 1980

Édité par

LIBRAIRIE AL MAARIF

Rue Bab Challah- B.P.239

Rabat

INSTRUCTIONS OFFICIELLES

I - OBJECTIFS DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES NATURELLES

L'objectif de l'enseignement des Sciences de la Nature est triple.

1) La formation :

Les Sciences Naturelles ne sont pas une discipline de simple acquisition de connaissances. Au contraire, elles visent à **développer l'intelligence** à partir du contact entre l'élève et le monde qui l'entoure. Elles assurent :

a) Le développement du sens de l'observation, de l'analyse, de la réflexion logique, du passage du particulier au général et du concret à l'abstrait sans cesse en contact avec des objets ou des expériences, l'élève est amené à observer de façon critique, à distinguer l'essentiel de l'accessoire, à comparer, à analyser une expérience, à en concevoir d'autres à généraliser et à synthétiser. Il acquiert ainsi une **attitude scientifique**, c'est-à-dire une méthode d'analyse de la réalité et non la mémorisation d'une série de modèles qui risquerait de la masquer. Placé devant des situations toujours renouvelées, l'élève voit se développer son **adaptabilité**, faculté indispensable dans un monde en constante transformation.

b) Le développement de l'**expression** sous toutes ses formes : **orale, écrite et graphique** ; l'élève énonce le résultat de ses observations ou de ses conclusions, les traduit par un dessin ou un schéma et les transcrit sur le cahier, le tout avec exactitude, clarté et concision.

c) Le développement de l'**habileté manuelle** : l'élève est amené à manipuler du matériel, à effectuer et à imaginer des montages expérimentaux. Ainsi aux opérations intellectuelles sont associées des opérations manuelles.

d) L'acquisition de bonnes **habitudes de travail** : ordre, précision et soin.

e) Le **développement du sens social civique** : travaillant souvent par équipe, les élèves voient se développer leur sens de la vie en société ; en même temps, en manipulant du matériel de plus en plus complexe, ou en participant eux-mêmes à sa confection, tout en intervenant de façon de plus en plus active dans sa mise en oeuvre, ils acquièrent le sens des responsabilités et le respect du bien public.

f) Le **sens de la protection de la nature** : en contact permanent avec la nature, l'élève en connaît mieux les ressources, prend conscience de leur intérêt et des dangers qui les menacent.

2) **L'information** : Cette action porte sur :

a) **Les connaissances fondamentales sur son propre organisme et la nature de son pays.**

b) **L'éducation sanitaire** : les professeurs sont en contact avec une couche importante de la population, couche particulièrement réceptive aux notions d'hygiène dont ils assureront ainsi une large diffusion.

c) **Quelques acquisitions de la biologie moderne** : la science progresse de plus en plus, aussi convient-il que des notions dont la découverte implique des conséquences particulièrement importantes soient introduites dans l'enseignement (2e cycle).

3) **La détection des aptitudes** : les problèmes que posent les Sciences de la Nature sont des problèmes complexes dont les solutions nécessitent une approche particulière. Les Sciences Naturelles permettront ainsi d'assurer l'orientation des élèves particulièrement doués, sur des critères autres que les seules aptitudes en langue ou en mathématiques.

Les 3 aspects de l'enseignement, exposés ci-dessus, sont intimement liés. Ainsi, l'enseignement des Sciences Naturelles est, **de toutes les disciplines, un de ceux qui préparent le mieux à la vie active de l'Homme de demain.**

II - LA RÉALISATION DES OBJECTIFS : Méthodes et démarches

On entend par méthode, un ensemble de principes permettant la réalisation d'un certain travail. S'agissant d'une méthode pédagogique, ces principes seront fonction :

- des objectifs visés par l'enseignement de la discipline ;
- de la nature du sujet traité ;
- des élèves auxquels on s'adresse ;
- des moyens dont le professeur dispose.

Deux composantes essentielles peuvent permettre de caractériser l'acte pédagogique :

- l'attitude du maître en classe qui, en conditionnant le degré de participation des élèves définira la méthode d'enseignement ;
- la manière d'aborder le sujet, c'est-à-dire la démarche prévue par le professeur.

1) LES MÉTHODES

- On parlera de **méthode dogmatique ou expositive** lorsque l'attitude du professeur est directive. Cette forme d'enseignement qui met essentiellement l'accent sur l'acquisition des connaissances est bannir en Sciences naturelles.

On parlera de **méthodes actives** lorsque l'attitude du maître, non directive engendre chez l'élève une activité tant orale qu'écrite, tant intellectuelle que manuelle.

Sauf cas exceptionnel, c'est donc dans l'esprit des méthodes actives que le professeur doit dispenser son enseignement des Sciences naturelles aussi bien en heure non dédoublée (séance dite de cours) qu'en heure dédoublée (séance de travaux pratiques).

Ce sont donc les élèves qui décrivent, analysent, dessinent, critiquent et tirent les conclusions. Le rôle du maître est d'orienter ce travail en posant des questions précises, de rectifier les erreurs ou les fausses

interprétations. En outre il lui appartient d'apporter les éléments d'information qui n'ont pu être découverts en classe.

La classe est un dialogue permanent, ce qui n'exclut pas la discipline. En aucun cas, méthode active ne doit devenir synonyme de désordre : le maître doit toujours désigner les interlocuteurs et n'accepter jamais de réponses émises collectivement.

2) LES DÉMARCHES :

En préparant la séance de Sciences naturelles, le professeur doit à la fois réfléchir :

- au mode de présentation du sujet à traiter ;
- la progression qui permettra de répondre aux problèmes posés par l'étude en cours.

La présentation du sujet peut être :

- **monographique** : le sujet est alors traité point par point et donc de manière exhaustive ; cette forme de présentation doit être évitée car elle conduit le plus souvent à une accumulation des connaissances qui font passer au second rang la réalisation des objectifs de formation. En particulier dans les classes de premier cycle, le professeur devra s'interdire d'aborder l'étude des animaux, des végétaux, voire d'un phénomène géologique ou biologique sous la forme monographique.
- **thématique** : pour chaque étude, on retient certains problèmes particulièrement importants ou intéressants ou qui auront été soulevés par les élèves. Ces problèmes constituent autant de thèmes susceptibles d'engendrer la participation et la réflexion de l'élève.

La progression pédagogique : elle conditionne la démarche qui favorise au mieux la réalisation des objectifs de formation et d'information visés au cours de la séance. Dans l'enseignement des Sciences naturelles on peut distinguer :

- la démarche fondée sur le principe de "redécouverte" ;
- la démarche basée sur la pédagogie dite par l'étude de problèmes ;
- la démarche historique.

Ces démarches seront indifféremment employées au niveau du premier et du deuxième Cycle ; elles présentent d'ailleurs dans l'application pratique diverses variantes en fonction de la nature des documents utilisés ou de la nature du sujet traité. C'est pourquoi, il conviendra en classe de s'attacher à l'esprit sur lequel ces démarches sont fondées : quelle que soit en effet la progression pédagogique adoptée, celle-ci doit refléter les phases du raisonnement scientifique contenues dans ce qu'il est désormais convenu d'appeler la démarche expérimentale. Tout professeur de Sciences naturelles ne peut ignorer ces phases du raisonnement scientifique que sont :

- l'observation (O) ;
- l'élaboration des Hypothèses (H) ;
- la vérification de ces dernières par l'expérimentation (E) ;
- la formulation des Résultats (R) ;
- l'interprétation (I) ;
- la conclusion ou la généralisation (C).

Ces différentes étapes sont parfois symbolisées par le schéma dit "OHERIC" ; s'il reflète en général, ce que peut être la démarche scientifique, ce schéma ne doit pas être considéré comme un modèle. Il présente là encore des variantes en fonction du problème posé, des contenus scientifiques, des documents disponibles ou choisis au cours d'une séance donnée.

Le professeur évitera donc d'appliquer en classe la démarche expérimentale d'une manière caricaturale en imposant par exemple chaque séance une progression, annoncée à priori, où figurent nécessairement dans cet ordre l'observation, la formulation des hypothèses, la vérification. La recherche des documents, leur analyse, le tâtonnement expérimental, les hypothèses encore, bonnes ou mauvaises, doivent être dans la mesure du possible laissées à l'initiative des élèves. On s'efforcera en particulier de tenir compte de leurs connaissances empiriques ou acquises antérieurement en classe, de leurs possibilités d'expression et de réflexion.

C'est à ces conditions que l'enseignement des Sciences de la Nature contribuera à inculquer à l'élève une attitude scientifique véritable indispensable à sa formation.

III - LA SÉANCE DE SCIENCES NATURELLES

A. SA PRÉPARATION :

Chaque heure de classe demande plusieurs heures de préparation. La préparation

d'une classe ne se fait pas au dernier moment, car la leçon peut exiger un matériel dont l'obtention peut demander un certain délai ou une expérience exigeant d'être mise en route plusieurs jours à l'avance.

La préparation d'un cours, à quelque niveau que ce soit, exige une sérieuse documentation. Un professeur doit toujours en connaître davantage sur le sujet de la leçon, que le strict niveau de la classe. Il doit donc s'appuyer sur une source de documentation variée, et se rappeler que tout document, si bon soit-il, doit toujours être examiné d'un oeil critique.

Pour la plupart des sujets, il est nécessaire d'avoir une bonne documentation sur le milieu local. Aussi, dans chaque établissement, doit se trouver un dossier de documentation locale auquel chaque professeur se doit d'apporter sa contribution. Ce dossier permettra aux professeurs récemment nommés d'utiliser tout de suite des exemples locaux pour leurs leçons. Il doit être constitué de fiches renfermant des notions précises sur les sites géologiques, les industries locales, la flore, la faune, etc. Les fiches des établissements d'une même localité pourront être échangées. Ce travail doit être réalisé par tous les professeurs d'une localité et ne pas rester le fait de quelques-uns.

Les leçons de Sciences Naturelles devant s'intégrer harmonieusement dans l'ensemble de la scolarité, le professeur doit connaître le programme des années antérieures et postérieures à la classe qui lui est confiée, non seulement en Sciences Naturelles, mais aussi dans les autres matières.

En outre, le professeur doit organiser la progression des différents chapitres inscrits au programme de telle sorte que les manipulations individuelles aient lieu durant les heures à effectif dédoublé (travaux pratiques), l'exploitation des données issues de ces manipulations et l'utilisation éventuelle d'un matériel collectif se faisant pendant les heures à effectif complet. Les travaux pratiques seront donc intégrés

dans la démarche suivie pour l'étude en cours et ne peuvent en aucun cas constituer une simple illustration des phénomènes abordés. Il est d'ailleurs à noter que la notion dite de cours n'a désormais plus sa place dans l'enseignement des Sciences naturelles : l'apport d'éléments d'information à caractère théorique peut certes s'avérer nécessaire mais on évitera de le faire sous forme de cours magistraux.

Pour toute séance, le professeur se doit de **définir** à l'avance le ou les **objectifs de formation à atteindre** ainsi que la ou les **notions** à aborder.

Il est d'autre part indispensable de prévoir soit **une transition** avec le chapitre précédent (celle-ci pouvant donner lieu à une rapide interrogation orale collective ou individuelle ou mieux à un exercice à partir de documents voisins de ceux étudiés précédemment) soit **une motivation** à l'étude qui suivra.

Seront également prévus avec la rigueur qui s'impose les **moyens matériels** destinés au déroulement de la séance ; ils sont très variés

- échantillons naturels ;
- montages expérimentaux ;
- photographies distribuées individuellement ou projetées à l'épiscopes, cartes topographiques ou géologiques, radiographies ;
- documents photocopiés (table de composition des aliments par exemple), résultats chiffrés d'expérience, graphes, cartes et données issues de manuels de Sciences Naturelles ;
- diapositives ; films ;
- données issues des observations de terrain ;
- exercices divers ;
- articles de journaux, textes scientifiques et de vulgarisation...

À ce sujet le professeur s'attachera à enrichir le matériel de l'établissement en le confectionnant lui-même (préparation de squelette de pattes ou de têtes d'animaux). Il est responsable des locaux et du matériel qu'il utilise pendant son cours et prendra toutes les précautions nécessaires à leur préservation.

Il n'omettra pas à la fin de la séance et avant le départ des élèves de contrôler l'état du matériel mis à leur disposition.

On rappellera aussi que toute nouvelle manipulation doit être testée au laboratoire avant d'être réalisée devant (ou par) les élèves.

Chaque séance doit se terminer selon une coupure logique : en fin de chapitre, une récapitulation avec ou non élaboration d'un schéma est nécessaire ; si le thème en cours n'est pas terminé en fin de séance, on ménagera néanmoins une conclusion provisoire autorisant la formulation du problème biologique ou géologique qui sera ultérieurement traité.

B. LA SÉANCE

1 - Dans le premier cycle surtout, la séance de Sciences naturelles a pour objectif majeur de développer le sens de l'**observation**.

L'exercice d'observation a un rôle éminemment éducatif car il permet le passage de l'égoïsme primitif à l'objectivisme adulte. En observant, par la précision et la rigueur des analyses, la volonté d'exclure de la connaissance tout ce qui est subjectif et passionnel, l'élève apprend à acquérir cette qualité morale indispensable : la probité intellectuelle. Il y a une technique de l'observation qui s'acquiert par l'exercice ; aussi l'élève doit-il être placé devant des objets et des faits.

L'observation de la réalité, lorsqu'elle est possible, doit toujours primer celle d'une image, d'un modèle anatomique ou d'un tableau mural, qui ont toujours un caractère artificiel, plus ou moins accentué selon le cas.

Il faut également éviter de multiplier pendant un cours le nombre de diapositives ou de projeter un film trop long. Les documents doivent être analysés minutieusement et il importe donc qu'ils soient brefs (film) ou peu nombreux (diapositives).

Au cours de l'observation, il faut d'abord laisser les élèves énoncer librement leurs remarques : c'est l'observation dite sauvage qui permettra au professeur de faire, par exemple, le bilan des connaissances empiriques ou fragmentaires des élèves et de voir dans quel sens il orientera le dialogue. Cette observation libre sera suivie d'une observation guidée au cours de laquelle le professeur évitera la dispersion à l'aide de questions plus précises.

2- Pendant l'observation, un dialogue s'instaure nécessairement entre les élèves et le professeur ou entre les élèves eux-mêmes. La séance de Sciences naturelles est donc l'occasion de développer **l'expression orale**. C'est le maître qui désigne l'élève qui fera part de ses observations ou de ses conclusions. Il s'attachera toujours obtenir des réponses correctes dans le fond comme dans la forme. Comme dans toute autre classe, le professeur est un **professeur de français**. Toute réponse incorrecte ou inexacte doit être critiquée et non rejetée sans explication. Le maître apporte les termes nouveaux correspondant aux observations effectuées et les inscrit au tableau. La leçon est donc aussi une leçon de vocabulaire. Le français n'est pas la langue maternelle des élèves,

aussi le professeur doit-il toujours veiller à la correction de la langue et à l'exactitude de l'orthographe. Dans le premier cycle surtout, il devra simplifier son langage, ce qui ne veut pas dire employer un langage incorrect, mais éviter les mots d'un usage peu courant. En 2e A.S, l'élève possède le "Français Fondamental de 1er degré" ; "le Français Fondamental 2ème degré" est acquis en fin de 4e A.S. Le professeur pourra se reporter avec profit aux documents correspondants (Dictionnaire la langue française de Gougenheim) pour les termes non scientifiques, sans les considérer toutefois comme une limite absolue. Le professeur doit donner, si possible, la traduction en arabe des termes scientifiques (voir lexique en annexe),

3- La synthèse des observations sera traduite en classe par des schémas ou dessins : la séance de Sciences naturelles est aussi l'occasion d'entraîner les élèves à **l'expression graphique** ; ce mode d'expression doit avoir une place privilégiée au Maroc, où le français n'est pas la langue maternelle. Il faut distinguer :

a) **Le dessin** qui exprime les caractères essentiels de l'objet, en projection sur une feuille de papier, tout en respectant ses formes. Ce n'est pas une photographie, mais le résultat d'une analyse éliminant les détails inutiles (ombres par exemple).

Lorsque l'objet est complexe, il ne faut prendre qu'une partie simple pour le dessin d'après nature. Le professeur devra établir une progression de difficulté croissante. Le maître doit toujours donner des directives très précises pour leur exécution qu'il suivra étroitement en passant derrière les élèves. Les dessins sont exécutés au crayon. Ils doivent être suffisamment grands, précis et soignés. La légende doit être complète et correctement disposée. Tout dessin doit avoir un titre.

b) Le **schéma** qui représente l'expression graphique d'une expérience, des rapports entre les différentes parties d'un objet ou de son fonctionnement. Il suppose une part d'abstraction beaucoup plus importante que pour le dessin, ce qui n'implique pas forcément qu'il ne peut être exécuté à partir de l'observation de l'objet réel. Il peut être exécuté au tableau par le professeur, avec la participation des élèves, ou par un élève lui-même, les autres rectifiant ses erreurs éventuelles jusqu'à l'aboutissement d'une expression correcte, transcrite alors par tous sur les cahiers.

Il va de soi que les directives données Pour les dessins à propos du soin, de la précision, du titre et des légendes sont valables pour les schémas.

Les élèves doivent toujours assister ou mieux participer à l'élaboration des schémas ou des dessins qu'ils auront à exécuter. Ces dessins et schémas ne doivent jamais être copiés à partir d'un tableau préparé à l'avance ou d'un livre. Ils ne doivent pas être pris au brouillon en vue d'être reproduits en dehors de la classe.

Dessins et schémas doivent toujours être adaptés au niveau des élèves, mais il faut remarquer que pour des ensembles relativement complexes (le tube digestif par exemple) on peut toujours trouver un schéma exécutable par l'élève à son niveau, matérialisant la compréhension des structures ou du fonctionnement.

Le dessin est un exercice assez long. Aussi pour une étude anatomique complexe, on pourra faire réaliser un dessin et compléter par des schémas.

Par ailleurs, ce mode d'expression devra, dès la classe de 4e A.S remplacer les résumés morphologiques, les leçons tant alors axées sur l'explication des phénomènes.

4- Toute séance de Sciences naturelles doit enfin se matérialiser, sur le classeur de l'élève, par un texte dont l'élaboration permettra de développer les aptitudes à **l'expression écrite** ; ce texte pourra en fonction du sujet traité, de la démarche suivie, prendre la forme :

- d'un plan plus ou moins détaillé ;
- d'un plan accompagné d'une prise de notes ;
- d'un résumé.

A chaque fois que cela sera possible le professeur fera référence au manuel existant, d'une part pour entraîner l'élève à son utilisation (le manuel a valeur de document écrit) d'autre part pour favoriser ou réduire la prise de notes.

Quelle que soit sa forme, le résumé, synthèse écrite des observations ou des analyses, sera **construit par les élèves**. Ses grandes lignes apparaissent déjà au tableau par les mots qui y ont été inscrits. Le résumé est construit après chaque partie de la leçon (en moyenne en 3 ou 4 fois). En aucun cas, on ne fera copier un long résumé en une fois, l'heure non dédoublée. Le résumé est formé de phrases simples. Comme ce sont les élèves qui les déterminent, sous la direction du maître, il pourra être légèrement différent selon les sections. Ceci rompra la monotonie des classes parallèles et réduira le travail à la maison, car ainsi chaque élève retrouvera, en lisant son cahier, l'atmosphère qui a présidé à l'élaboration du résumé.

Le professeur peut en 1ère et 2ème A.S. écrire tout le résumé au tableau, mais devra au minimum y inscrire les mots scientifiques nouveaux et ceux d'orthographe difficile.

Il importe donc que le tableau soit correctement tenu et bien présenté. Le plan de la leçon doit y figurer et y rester jusqu'à la fin du cours. On peut le placer à gauche, la partie centrale étant réservée aux schémas ou aux indications transitoires, la partie droite aux termes nouveaux ou d'orthographe difficile. Le tableau doit toujours être effacé totalement avant le début de la leçon. Il ne doit jamais y rester des reliefs des cours précédents.

5- La séance de Sciences naturelles permet aussi, quand le sujet s'y prête, de développer l'habileté manuelle grâce à la réalisation de manipulations ou d'expériences. Celles-ci trouveront en priorité leur place durant les séances à effectif dédoublé, les élèves pouvant être regroupés par deux ou par trois selon la nature et l'abondance du matériel disponible.

A défaut de matériel en quantité suffisante et pour des manipulations relativement simples, le professeur pourra inviter un élève à manipuler devant la classe. Au cours de certaines séances dont la progression est calquée sur les étapes de la démarche expérimentale, les élèves seront sollicités pour imaginer le principe de l'expérience ou en concevoir le protocole.

6- Classes sur le terrain

Certaines parties des programmes exigent une classe au contact direct de la nature. Ces sorties seront toujours préparées avec soin et menées dans l'ordre. Ce ne sont pas des promenades, mais des leçons faites dans le milieu lui-même.

Le chef d'établissement devra toujours donner son accord et connaître l'itinéraire et l'horaire exacts, lesquels devront être respectés.

En 5e A.S et 3e A.S, la sortie doit être préparée par l'examen de cartes ou même plus simplement d'un plan de la ville pour initier les élèves à l'interprétation des signes topographiques et au calcul de l'échelle.

Sur le terrain, les élèves observeront la géomorphologie, noteront les rapports des roches entre elles, récolteront des échantillons.

Toute étude qui n'est pas l'exploitation **directe** du site géologique se fera en salle (ex : hypothèse sur la genèse des roches observées).

IV - L'ÉVALUATION DU TRAVAIL DE L'ÉLÈVE

Toute activité de l'élève doit nécessairement être évaluée. En effet, l'évaluation permet d'une part de juger des progrès réalisés ou des difficultés rencontrées par les élèves, d'autre part d'apprécier la réalisation des objectifs pédagogiques définis, donc l'efficacité des processus d'enseignement adoptés.

En d'autres termes, l'évaluation est pour tout professeur un moyen de remise en cause de son enseignement.

A - Le cahier de Sciences Naturelles

L'ensemble du travail fait en classe doit figurer sur le cahier (ou mieux sur le classeur) de Sciences naturelles. Celui-ci est, en outre, l'outil nécessaire à la préparation des examens. Il doit toujours être unique. Il ne doit jamais y avoir 2 cahiers différents, l'un correspondant aux heures dédoublées, l'autre à celles où la classe est présente en entier.

Le professeur donnera de bonnes habitudes de soin et de présentation, mais ne doit pas faire user du brouillon en vue de recopier ultérieurement.

Les classeurs seront régulièrement corrigés dans le premier cycle ; il en sera de même dans le second cycle en ce qui concerne en particulier des travaux personnels : dessins, résultats expérimentaux, construction de graphes, exercices, etc.

En plus de la correction des cahiers, le contrôle du travail, s'effectue par les interrogations et les compositions.

B - Les Interrogations

L'interrogation doit vérifier si l'élève a compris ce qui a été étudié antérieurement. Elle ne doit pas consister en une simple récitation, mais être

surtout **un exercice de réflexion**. C'est ainsi qu'on peut proposer un exercice sur un sujet voisin de celui de l'étude antérieure. La diapositive peut, dans ce domaine, rendre de grands services. L'interrogation peut se présenter sous deux formes :

1) L'interrogation orale :

Elle ne doit jamais excéder 10 minutes. Pendant ce temps, on peut interroger au tableau 2 ou 3 élèves. Une autre méthode consiste à interroger de nombreux élèves restant à leur place, l'un après l'autre, par une série de questions, permettant un sondage plus large de la bonne acquisition de la précédente leçon. L'interrogation peut aussi être assurée par les élèves eux-mêmes ; dans ce cas on invitera ces derniers à préparer un questionnaire à l'avance afin de rendre le dialogue aussi fructueux que possible.

Le professeur exigera toujours des réponses correctes et précises, tant dans la forme que dans le fond. Les réponses incorrectes ne seront pas rejetées sans examen, mais critiquées de façon à faire comprendre à leurs auteurs leurs erreurs, ou à rectifier un point qui n'avait pas été compris.

L'interrogation permet ainsi au professeur de juger la valeur de son enseignement. Elle peut amener naturellement à la leçon du jour.

2) L'interrogation écrite

Elle a l'avantage de permettre le contrôle du travail de toute la classe en un temps très bref. Sa fréquence est d'au moins une par mois.

C - Les compositions

1) En 7^{ème} année Sciences Expérimentales, il est nécessaire de contrôler le travail des élèves, si possible dans les mêmes conditions qu'à l'examen, plusieurs fois dans l'année. À cet effet seront organisées des compositions pour lesquelles les professeurs pourront largement s'inspirer des annales. Cet exercice fera l'objet d'une correction soignée et de remarques personnelles à chaque élève.

2) Pour les autres classes, il convient de se reporter à la note no 215 du 22 novembre 1976 et l'additif no 174 du 14 octobre 1978.

PROGRAMME DE LA 7^{ème} A.S. SCIENCES EXPÉRIMENTALES¹

Il est important de noter que même si l'enseignement des Sciences naturelles en 7^{ème} A.S. doit avant tout permettre aux élèves de se préparer au baccalauréat, les moyens et les méthodes pédagogiques préconisés et pratiqués jusqu'alors ne peuvent et ne doivent en aucun cas conduire ici à la seule accumulation des connaissances ; la formation de l'esprit scientifique des élèves demeurera un objectif permanent en 7^{ème} A.S. A cette fin, on s'efforcera de prévoir dans le déroulement de toute séance, quel que soit le sujet traité, le maximum d'exercice.

I. PHYSIOLOGIE ANIMALE : Problèmes de relation

A. FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME NERVEUX SPINAL : Les réflexes médullaires.

- Observation des réflexes chez l'animal et l'homme ; étude expérimentale des réflexes médullaires chez la grenouille : éléments mis en jeu au cours de l'acte réflexe.
- Le nerf, ses propriétés.
- Le neurone : propriétés et constitution avec réalisation et examen de préparations microscopiques de tissu nerveux.
- L'influx nerveux.
- L'arc réflexe et l'organisation du système nerveux spinal.

B. FONCTIONNEMENT D'UN ORGANE DES SENS : l'oeil

- La formation des images et l'organisation du globe oculaire (dissection) ; accommodation et diaphragmation ;
- L'acuité visuelle, ses variations ; le champ visuel : structure de la rétine (observation de préparations microscopiques) ;
- Vision centrale et vision périphérique ;
- Le message sensoriel : origine, transmission et interprétation.

C. FONCTIONNEMENT DES CENTRES NERVEUX SUPÉRIEURS : Quelques aspects

- Sensibilité consciente, motricité volontaire et organisation des centres nerveux supérieurs (dissection d'un encéphale de Mammifère) ;
- Les centres nerveux supérieurs et l'activité réflexe (sauf le cas des réflexes médullaires étudiées en A)

¹ Suite aux instructions officielles, on trouve à partir de la page 18 jusqu'à la page 51 les programmes des différents niveaux du secondaire. Nous présentons ici uniquement celui de la 7^{ème} année secondaire (baccalauréat marocain), lequel est situé de la page 49 à 51.

D. FONCTIONNEMENT D'UN ORGANES MOTEUR : Le muscle strié

- Observation et enregistrements graphiques de la contraction musculaire ;
- Mécanisme de la contraction musculaire et étude histologique de la fibre musculaire striée.

E. L'ACTIVITÉ CARDIAQUE

- Les manifestations externes de la révolution cardiaque : bruits du coeur, pouls, pression artérielle ;
- Observation et enregistrements de la révolution cardiaque chez un Batracien ; l'électrocardiogramme (données simples) ;
- L'automatisme cardiaque ; effets de quelques facteurs sur l'activité du coeur ;
- Le coeur, organisation générale et structure histologique (chez un Mammifère)
- Quelques réponses adaptatives du coeur : action du système nerveux sur l'activité cardiaque, notion de médiateur chimique.

II. PROBLÈMES DE REPRODUCTION

A. GAMÈTES, FÉCONDATION ET MÉIOSE

- Examen de préparations microscopiques et/ou de microphotographies montrant les gamètes chez des animaux et des végétaux ainsi que leur fusion, nécessité de la méiose.

B. LA REPRODUCTION HUMAINE.

- Fonctionnement de l'appareil génital de la femme et de l'homme son organisation : Fécondation, nidation, gestation, accouchement ;
- La régulation des naissances.

C. REPRODUCTION D'UNE PLANTE ANGIOSPERME.

- Observation et expériences relatives à l'intervention du pollen dans la formation du fruit.
- Les organes reproducteurs : observation de plusieurs fleurs permettant de dégager les traits communs l'organisation de l'appareil reproducteur.
- Quelques étapes de la formation de la graine : la pollinisation, diverses modalités et importance en agronomie, Le phénomène de la double fécondation.

D. CYCLE DE DÉVELOPPEMENT

(l'alternance de générations) à partir de quelques exemples pris dans le règne animal et végétal.

III. GÉNÉTIQUE

A. LES MUTATIONS.

- Exemple d'altération non héréditaire ;
- Exemple d'altération héréditaire ou mutation : sensibilité ou résistance à la streptomycine chez les Bactéries.
- Le gène, unité de mutation et unité de fonction ; allèles ;
- Propriétés des mutations spontanées ;
- L'ADN, matériel génétique ; la transformation des Bactéries ;
- Les gènes, fragments d'ADN.

B. ÉTUDE CHEZ UN EUCARYOTE HAPLOÏDE (Neurospora) de la ségrégation mendélienne d'un couple d'allèles d'un gène, de deux couples d'allèles de gènes indépendants et de gènes liés (enjambement, principe d'établissement des cartes factorielles)

C. ÉTUDE BIOMÉTRIQUE DE LA VARIATION CHEZ LES ORGANISMES DIPLOÏDES

D. APPLICATION DES LOIS DE LA GÉNÉTIQUE AUX ORGANISMES DIPLOÏDES

- Cas d'un couple d'allèles, dominance ;
- Cas de deux couples d'allèles de gènes indépendants et de gènes liés ;
- Déterminisme génétique du sexe, hérédité liée au sexe.

E. EXEMPLES D'HÉRÉDITÉ HUMAINE.

Cette étude doit comprendre au moins l'étude de l'hérédité des groupes sanguins et d'un cas d'hérédité liée au sexe.

F. LE MODE D'ACTION DES GÈNES, LE CODE GÉNÉTIQUE ET LA TRANSCRIPTION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE.

Annexe 2

Liste des didacticiens consultés

Liste des didacticiels consultés¹

<u>1- MACFLY</u>	INTELLIMATION LIBRARY FOR THE MACINTOSH
Simulation of genetics laboratory complete with breeding fruit flies. Available for Macintosh equipment.	<u>5- ADVANCED GENETICS</u>
	Tutorial/Simulation presented as a nine-part program covering dominance and recessiveness, partial dominance, lethality, mechanism of inheritance, multiple alleles, sex linkage, multi-trait inheritance, crossing over, and gene mapping.
	EDUCATIONAL MATERIALS & EQUIPMENT CO.
<u>2- MENDELIAN GENETICS</u>	<u>6- DISCROSS-DIHYBRID CROSSES</u>
Simulation covering dominance, partial dominance, lethality, linkage, and sex linkage. Program available for Apple II equipment.	Simulation of various types of dihybrid crosses. Program available for Apple II, IBM-PC, and Commodore 64/128 equipment.
QUEUE, INC.	DIVERSIFIED EDUCATION ENTERPRISES
<u>3- FLYGEN</u>	<u>7- GENETICS</u>
Simulation of monohybrid or dihybrid crosses with 25 varieties of Drosophila. Program available for Apple II, IBM-PC equipment.	Tutorial that allows students to explore Mendel's experiments, Punnett Squares, sex linkage in fruit flies, and multiple alleles. Program available for Apple II equipment.
DIVERSIFIED EDUCATION ENTERPRISES	SCOTT, FORESMAN & CO.
<u>4- MENDEL</u>	<u>8- HYPERFLY SERIES</u>
Mendel est un logiciel de résolution de problèmes qui porte sur la compréhension des notions de génétique tant mendélienne que moderne. Appareil Macintosh Plus	Two simulations providing an introduction to genetics, the study of monogenic inheritance and phenotypic ratios. Available for Macintosh equipment.
GROUPE MICRO-INTEL Inc.	INTELLIMATION LIBRARY FOR THE MACINTOSH

¹- Les didacticiels 1 à 4 sont ceux que nous avons consultés. 1 à 3 sont cités par MODELL, H. (1992) : Where's the software ; in COMPUTERS IN LIFE SCIENCE EDUCATION, VOLUME 9, NUMBER 1, MARCH 1992 (pages : 3 et 18).
Le didacticiel numéro 4 "MENDEL" est indiqué dans le catalogue des logiciels éducatifs subventionnés par la DGEC. Bibliothèque Nationale du Québec, 1994.

Annexe 3

Grille d'appréciation du simulateur lors de la mise à l'essai fonctionnelle



PRÉSENTATION

Cette grille a pour but de vous aider à réaliser l'évaluation du logiciel "GÉNÉTIQUE" et de la documentation afférente. L'ensemble est appelé "le matériel" puisqu'il se présente comme un matériel didactique formant un tout. À ce titre, il doit être évalué avec sérieux et rigueur car vos appréciations et vos commentaires nous seront d'une grande utilité pour réaliser les réajustements qui s'imposent.

Certains éléments sont accompagnés d'une explication pour permettre de clarifier le sens donné à la question.

La majorité des questions sont d'ordre factuel. Vous y répondez par "oui" ou "non" et parfois par "ne s'applique pas". D'autres questions sont de l'ordre du jugement. Vous donnez une réponse sur une échelle à quatre niveaux selon votre estimation.

L'évaluation porte sur cinq (5) grandes parties qui sont : la pédagogie ; la conformité au(x) programme(s) d'études ; la facture du logiciel ; la documentation ; la pertinence du médium.

À la fin de chacune de ces cinq parties, nous vous demandons de formuler une synthèse de vos appréciations. Il est préférable de décrire les faits plutôt que d'utiliser des superlatifs du genre excellent, très bon, mauvais, ou autre.

DÉMARCHE SUGGÉRÉE

Installer d'abord le logiciel, comme c'est indiqué dans le guide du professeur. Profitez de cette étape pour répondre aux questions (30.4) sur l'installation du logiciel.

Ensuite, nous vous suggérons de jouer avec le didacticiel, de l'explorer, de le découvrir selon vos goûts vos habitudes et votre instinct. Il est important de consulter la documentation, tout au moins en partie, pour mieux comprendre le fonctionnement du didacticiel pour connaître ses objectifs, son contenu, sa démarche et ses limites, etc.

Enfin, lorsque vous vous sentirez à l'aise avec le matériel, passez à l'évaluation en suivant la grille étape par étape.

Nous vous remercions grandement de votre collaboration.



PREMIÈRE PARTIE

10- LA PÉDAGOGIE

Cette partie examine les diverses facettes de la dimension pédagogique du logiciel. Les aspects évalués peuvent parfois paraître technique, mais ils ont des impacts pédagogiques dont il faut tenir compte. Ce sont donc les indices pédagogiques, explicites ou non, qui seront étudiés ici.

Rappel

Avez-vous lu la démarche concernant l'installation du logiciel dans le guide du professeur et répondu aux questions (30.4) ?

10.1- INTERACTION

10.1.1 Y a-t-il un équilibre entre les éléments d'apprentissage et la quantité de manipulations proposées ?

Existe-t-il un équilibre entre le contenu pédagogique et les manipulations demandées ou proposées. La modification des facteurs et le choix des paramètres dans le logiciel sont-ils simples ?

Oui _____ Non _____

10.1.2 Le logiciel assure-t-il un dialogue significatif avec l'utilisateur ?

Y a-t-il une dynamique propre au logiciel ou bien est-ce que l'utilisateur n'est qu'un élément passif n'ayant que peu de contrôle sur le déroulement du logiciel ? L'utilisateur comprend-il ce qui se passe à l'écran ou bien est-il condamné à deviner ce qu'il doit faire ?

Oui _____ Non _____

10.1.3 La saisie des données par l'utilisateur est-elle adaptée aux caractéristiques de la clientèle visée ?

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

10.1.4 Les messages affichés à l'écran sont-ils adaptés aux caractéristiques de la clientèle visée ?

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

10.1.5 Comment qualifieriez-vous l'interaction étudiant-ordinateur ?

Il s'agit ici de fournir une évaluation globale sur l'aspect interactif entre l'utilisateur et l'ordinateur.

A : Excellente ; B : Bonne ; C : Passable ; D : Mauvaise.

10.1.6 Le type d'interaction du logiciel est-il conséquent avec la stratégie pédagogique utilisée ?

La façon d'interagir avec le logiciel favorise-t-elle l'apprentissage. Ainsi, il serait étonnant de demander des manipulations compliquées dans un logiciel d'apprentissage d'opérations mathématique de base, tout comme il serait antipédagogique d'exiger de simples confirmations (retour de chariot) lors d'une simulation.

A : Totalemment ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

10.2- LISIBILITÉ

Les prochaines questions portent sur la lisibilité à l'écran. Il faut se demander si le logiciel présente l'information à l'écran de telle sorte qu'elle favorise l'apprentissage.

10.2.1 Si le logiciel intègre du texte et du graphisme à l'écran, ces deux éléments sont-ils équilibrés ?

Oui _____ Non _____

10.2.2 Les symboles et les icônes utilisés ont -ils une signification pour l'utilisateur ?

Oui _____ Non _____

10.2.3 Les illustrations sont-elles de qualité suffisante ?

Oui _____ Non _____

10.2.4 Le graphisme respecte-t-il les conventions d'orientation et de perspective ?

Les graphiques ou les tableaux respectent notre perspective habituelle des choses. Ainsi, la perspective et la proportionnalité des objets sont respectées. Un cercle apparaît comme un cercle, ce qui est près est plus gros que ce qui est loin, etc.

Oui _____ Non _____

10.2.5 Les illustrations et les simulations respectent-elles nos habitudes de lecture : de gauche à droite, de haut en bas ?

Oui _____ Non _____

10.2.6 La présentation conceptuelle de l'information (modèles, résultats) est-elle adaptée à la clientèle visée ?

La présentation de l'information est-elle bien dosée. L'utilisateur est-il submergé par une information abondante ? La présentation est-elle plutôt symbolique que textuelle, à moins de contre-indications ?

Oui _____ Non _____ Ne s'applique pas _____

10.2.7 Les exemples ou les analogies utilisés sont-ils adaptés à la réalité de la population cible ?

Le logiciel colle-t-il à la réalité des étudiants à travers les analogies et/ou les exemples utilisés, ou est-il complètement étranger et/ou non pertinent ?

Oui _____ Non _____

10.2.8 La lisibilité du texte à l'écran tient-elle compte du niveau de compréhension de la population cible ?

A : Totalemment ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

10.3- RENFORCEMENT

10.3.1 Le logiciel propose-t-il des éléments de renforcement ?

Il s'agit ici de renforcements pédagogiques et non de simples confirmations du type "Bravo ; c'est bien, etc....". L'élève reçoit-il un encouragement lui permettant d'investir et de raisonner davantage ?

Oui _____ Non _____ Si c'est non, passez à 4.

10.3.2 Les renforcements sont-ils adaptés à la clientèle ?

Oui _____ Non _____

10.3.3 Les renforcements encouragent-ils l'utilisateur à faire d'autres apprentissages ?

Oui _____ Non _____

10.4- ASSISTANCE

10.4.1 Le logiciel est-il doté d'une aide ou d'une assistance pédagogique ?

Il s'agit ici d'une aide liée au contenu et non au fonctionnement du logiciel.

Oui _____ Non _____

10.4.2 L'utilisateur a-t-il accès, en tout temps, à l'assistance pédagogique fournie par le logiciel ou par les documents d'accompagnement ?

Oui _____ Non _____

10.4.3 L'information donnée par l'assistance pédagogique est-elle adéquate ?

Oui _____ Non _____

10.5- ÉVALUATION

10.5.1 Le logiciel propose-t-il une évaluation des apprentissages de l'étudiant ?

Oui _____ Non _____

10.5.2 La nature de l'évaluation proposée (formative, sommative, diagnostic) est-elle en accord avec les objectifs et la démarche du logiciel ?

L'évaluation intégrée au logiciel est-elle en adéquation avec la démarche suggérée et les objectifs visés ? Ainsi, des évaluations formatives peuvent soutenir une démarche par étapes, alors qu'une évaluation sommative est plus appropriée dans le cadre d'un exercice.

Oui _____ Non _____

10.5.3 Le moment proposé pour l'évaluation des apprentissages est-il adéquat ?

Oui _____ Non _____

10.5.4 L'étudiant est-il informé qu'il sera évalué ou que le logiciel conservera une trace de ses manipulations ?

Oui _____ Non _____

10.5.5 L'étudiant a-t-il accès aux résultats de son évaluation ?

Oui _____ Non _____

10.5.6 L'évaluation permet-elle à l'enseignant d'établir un diagnostic pédagogique ?

À partir des données recueillies par le logiciel, le professeur peut-il faire un diagnostic pédagogique sur un étudiant particulier ou sur l'ensemble de la classe ? Peut-il identifier le genre de difficultés qui empêchent la progression d'un étudiant ?

Oui _____ Non _____

10.5.7 L'enseignant consacre-t-il beaucoup de temps pour interpréter les résultats des étudiants ?

Oui _____ Non _____

10.6- GESTION PÉDAGOGIQUE

10.6.1 Le logiciel offre-t-il des fonctions de gestion pédagogique ?

Ex : liste d'étudiants, leurs résultats, prescriptions de travaux, diagnostics , etc.

Oui _____ Non _____

10.6.2 Les fonctions de gestion pédagogique sont-elles pertinentes ?

Oui _____ Non _____

10.7.2 Les fonctions de gestion pédagogique sont-elles suffisantes ?

Oui _____ Non _____

10.8.2 Les fonctions de gestion pédagogique sont-elles faciles à utiliser ?

Oui _____ Non _____

10.9- ADAPTABILITÉ PÉDAGOGIQUE

10.9.1 L'enseignant peut-il modifier le temps d'utilisation du logiciel selon ses besoins ?

Oui _____ Non _____

10.9.2 L'enseignant peut-il modifier le contenu pédagogique du logiciel en tout ou en partie ?

Oui _____ Non _____

10.9.3 L'enseignant peut-il modifier la nature des messages interactifs adressés à l'étudiant (consignes, messages de renforcement, etc.) ?

Oui _____ Non _____

10.9.4 L'enseignant peut-il adapter l'évaluation à ses besoins ?
A-t-il accès à un répertoire (dans le logiciel ou dans son guide) pour savoir comment changer le type d'évaluation proposée ; les critères de réussites et le niveau de réussite ?

Oui _____ Non _____


NOTES ET COMMENTAIRES

Pour rédiger vos commentaires, revoyez chacune des sous-rubriques abordées et commentez-les :

Interaction : _____

Lisibilité : _____

Renforcement : _____

Assistance : _____

Évaluation : _____

Gestion pédagogique : _____

Adaptabilité pédagogique : _____

(S.V.P., utilisez le verso au besoin)



DEUXIÈME PARTIE

20- LA CONFORMITÉ AU PROGRAMME D'ÉTUDES.

Le matériel didactique évalué (logiciel et documents) doit s'inscrire dans le cadre d'un programme d'études bien déterminé. Le matériel doit donc préciser la clientèle visée, les objectifs d'apprentissage, l'orientation pédagogique préférée, le contenu et les activités pédagogiques suggérées. Il s'agit aussi de savoir si l'enseignant peut intégrer le matériel au curriculum et aux activités de la classe, sans difficultés majeures.

20.1- ASPECTS GÉNÉRAUX

20.1.1 Le matériel (logiciel et documents) précisent-il la population cible visée par le logiciel est ?

Oui _____ Non _____

20.1.2 Le matériel présente-t-il clairement les objectifs pédagogiques qui sont poursuivis par le logiciel ?

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

20.1.3 Les objectifs d'apprentissage proposés dans le matériel sont-ils conformes au programme d'études concerné ?

Oui _____ Non _____

20.1.4 Le logiciel permet-il d'atteindre les objectifs visés par le programme d'études ?

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

20.1.5 La stratégie pédagogique⁽¹⁾ (Ex : jeux, simulation, exercices, etc.) utilisée par le logiciel favorise-t-il l'atteinte des objectifs ?

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

(1) Il est important de rappeler que le logiciel que vous évaluez est, à la fois, un simulateur et un exerciceur.

20.2- ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES

20.2.1 Le logiciel propose-t-il des activités pédagogiques ?

Les activités peuvent être indiquées ou suggérées dans la documentation seulement.

Oui _____ Non _____

20.2.2 les objectifs pédagogiques de chaque activité sont-ils formulés soit dans le logiciel ou dans la documentation ?

Oui _____ Non _____

20.2.3 Les objectifs poursuivis par les activités sont-ils en accord avec les objectifs du logiciel ?

Oui _____ Non _____

20.3- CONTENU

20.3.1 Le matériel offre-t-il un contenu notionnel conforme au programme d'études concerné ?

Le contenu n'a pas à couvrir la totalité du programme d'étude visé. C'est la conformité ici qui est analysée. Même si une seule notion est abordée, elle devra être conforme.

Oui _____ Non _____

20.3.3 Les contenus notionnels du logiciel et de la documentation sont-ils exacts ?

On vérifie si les données, calculs et résultats offerts sont exacts et à jour. Si on ne peut le faire, on demande au producteur d'en garantir la validité.

Oui _____ Non _____

20.3.4 Le contenu est-il conçu de manière hiérarchique et logique : allant du simple au complexe du particulier au général ?

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

20.4- DÉMARCHE

20.4.1 Le matériel (logiciel ou documentation) propose-t-il une démarche pédagogique ?

Oui _____ Non _____

20.4.2 La démarche pédagogique suggérée par le didacticiel est-elle compatible avec la démarche d'apprentissage privilégiée par la matière (la discipline) traitée ?

Oui _____ Non _____

20.4.3 La démarche pédagogique proposée facilite-t-elle l'atteinte des objectifs visés ?

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

20.4.4 La démarche pédagogique convient-elle à la clientèle visée ?

Elle doit correspondre au niveau de développement cognitif et affectif des utilisateurs : elle n'est ni compliquée ni simpliste.

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

20.5- RESPECT DE LA CLIENTÈLE

20.5.1 Le matériel tient-il compte du niveau de compréhension de la clientèle ?

Le matériel a le souci d'être proche des utilisateurs par le vocabulaire utilisé, les exemples donnés, les analogies, etc.

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

20.5.2 Le matériel est-il dépourvu de stéréotypes discriminatoires ou de préjugés liés à la race, au sexe, aux handicaps, aux classes sociales, aux religions, à l'âge, etc.

Oui _____ Non _____

NOTES ET COMMENTAIRES

Pour rédiger vos commentaires, revoyez chacune des sous-parties abordées précédemment et commentez-les :

Aspects généraux : _____

Activités pédagogiques : _____

Contenu : _____

Démarche : _____

Respect de la clientèle : _____

(S.V.P., utilisez le verso au besoin)

TROISIÈME PARTIE

30- LA FACTURE DU LOGICIEL

Cette partie évalue tous les aspects liés au fonctionnement du logiciel.

30.1- ASPECTS GÉNÉRAUX

30.1.1 Comment jugez-vous l'utilisation du logiciel (utilisation des menus, des icônes de navigation, etc.) ?

Il s'agit ici d'un sentiment général par rapport au logiciel. Quelle appréciation générale se dégage de votre utilisation du logiciel ?

A : très facile ; B : facile ; C : difficile ; D : très difficile.

30.1.2 Comment qualifieriez-vous la présentation du texte à l'écran ?

Il s'agit d'une appréciation générale sur la taille des caractères, la quantité du texte, la présentation des tableaux et des illustrations, etc.

A : Excellente ; B : Bonne ; C : Passable ; D : Mauvaise.

30.1.3 Tenant compte des possibilités techniques de l'ordinateur, le logiciel exploite-t-il adéquatement les capacités graphiques de l'appareil ?

Trouvez-vous que le logiciel utilise pleinement les capacités graphiques de l'ordinateur (animation, tableaux) ? Ce n'est pas une mesure absolue, mais une mesure relative eu égard aux finalités pédagogiques visés par le logiciel.

A : Excellente ; B : Bonne ; C : Passable ; D : Mauvaise.

30.1.4 Comment qualifieriez-vous l'espace de travail à l'écran ?

L'utilisateur se sent-il à l'aise pour travailler à l'écran ? Les fenêtres de travail ou les différentes zones sont-elles bien disposées ? L'organisation de la zone de travail est-elle logique, bien ordonnée ? Les fonctions disponibles (icônes) sont-elles faciles à trouver et à utiliser ? Est-il facile de s'y retrouver ?

A : Excellent ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvais.

- 30.1.5 **Comment qualifierez-vous le repérage et la navigation dans le logiciel ?**
Est-il facile de toujours savoir où l'on se trouve dans le logiciel (telle page, telle section, etc.) ? Est-il facile de naviguer dans le logiciel (passer d'une fenêtre à l'autre, d'une page-écran à l'autre, passer d'une section à une autre, aller à la fin ou quitter, etc.) ?
A : très facile ; B : facile ; C : difficile ; D : très difficile.
- 30.1.6 **Le logiciel utilise-t-il la couleur ?**
Oui _____ Non _____ Si c'est non, passez à la section : 30.2
- 30.1.7 **La couleur est-elle utilisée par le didacticiel pour :**
attirer l'attention et susciter l'intérêt _____ ?
favoriser une meilleure compréhension _____ ?
aider la mémorisation _____ ?
les trois points à la fois _____ ?
- 30.1.8 **Comment qualifierez-vous l'utilisation de la couleur dans le logiciel ?**
Trouvez-vous que les couleurs sont bien utilisées dans le logiciel tant qualitativement que qualitativement ?
A : Excellente ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvaise.

30.2- MAÎTRISE

- 30.2.1 **Comment jugez-vous la maîtrise de l'utilisateur sur le logiciel ?**
contrôle-t-il l'affichage de l'information et de l'aide, la navigation dans le logiciel (les passages et transitions d'une partie à l'autre), les sorties, la vitesse des animations s'il y a lieu ?
A : Excellente ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvaise.
- 30.2.2 **Comment qualifierez-vous la protection des données contre les fausses manoeuvres ?**
Comment se comporte le logiciel lorsque l'application quitte subitement le système ? Y a-t-il il sauvegarde des données contre l'effacement des informations et des résultats ?
A : Excellente ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvaise.

- 30.2.3 Comment jugez-vous l'appropriation du logiciel par l'enseignant ?
Lui faut-il passer de nombreuses heures avant de pouvoir l'utiliser en classe ou bien est-ce que le logiciel est simple de fonctionnement et facile à comprendre ? Doit-on posséder des connaissances en informatique pour pouvoir utiliser le logiciel adéquatement ?

A : très facile ; B : facile ; C : difficile ; D : très difficile.

30.3-ASSISTANCE

- 30.3.1 L'utilisateur a-t-il accès à une aide "assistance" sur le fonctionnement du logiciel dans le logiciel ou dans la documentation ?

Il s'agit d'une assistance sur le fonctionnement et non sur la pédagogie.

Oui _____ Non _____

- 30.3.2 Comment qualifierez-vous l'assistance dans le logiciel ?

Est-elle accessible en tout temps ? Est-elle contextuelle ou est-ce seulement une aide générale présentée quelque soit la demande ? Trouvez-vous que cette assistance est suffisante ?

A : Excellente ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvaise.

- 30.3.3 Existe-t-il une ou plusieurs explication(s) sur le rôle des icônes ?

Le logiciel explique le rôle des icônes. Cette explication peut prendre l'aspect d'une démarche guidée ou d'une simulation d'utilisation.

Oui _____ Non _____

- 30.3.4 Comment qualifierez-vous l'explication sur le rôle des icônes ?

Est-elle utile ? L'utilisateur a-t-il accès en tout temps à cette partie ? Couvre-t-elle les principales fonctions des icônes ?

A : Excellente ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvaise.

- 30.3.5 Le logiciel propose-t-il l'accès à des outils complémentaires (lexique ou autres) ?

Oui _____ Non _____

30.4-INSTALLATION

30.4.1 Comment qualifierez-vous l'installation du logiciel ?

L'installation est-elle facile, simple, assez rapide et que la procédure est clairement expliquée ?

A : Excellente ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvaise.

30.4.2 L'installation peut-elle être exécutée par une personne inexpérimentée ?

Oui _____ Non _____

30.4.3 Si elle est difficile à réaliser, est-il nécessaire de doter le logiciel d'une procédure qui prendra en charge l'installation ?

Oui _____ Non _____

30.4.4 Le logiciel supporte-t-il plusieurs possibilités de configuration technique sur un environnement particulier ?

Le logiciel que vous évaluez peut-il fonctionner sur plusieurs modèles d'appareils de la même famille : Macintosh Centris, un LC II, un LC III, un Mac II ?

Oui _____ Non _____

30.4.5 Le logiciel peut-il être installé sur un disque rigide ?

Oui _____ Non _____

30.5- ENVIRONNEMENT

30.5.1 Le logiciel exige-t-il une ou plusieurs application(s) pour fonctionner ?

Oui _____ Non _____

30.5.2- Précise-t-on quelque part (dans la documentation ou dans le logiciel) le type d'applications dont il s'agit ?

L'application HyperCard et sa base sont indispensables pour le fonctionnement du logiciel "GÉNÉTIQUE"⁽¹⁾.

Oui _____ Non _____

(1) Dans le paragraphe installation du logiciel, nous précisons que le professeur doit retirer du disque dur les applications HyperCard et HyperCard Player et d'installer tout le contenu du système "GÉNÉTIQUE" qui, lui, renferme toutes les applications indispensables au fonctionnement du logiciel.

NOTES ET COMMENTAIRES

Pour rédiger vos commentaires, revoyez chacune des sous-parties abordées et commentez-les :

Aspects généraux : _____

Maîtrise : _____

Assistance : _____

Installation : _____

Environnement : _____

(S.V.P., utilisez le verso au besoin)

QUATRIÈME PARTIE

40- LA DOCUMENTATION

Cette partie évalue tous les documents imprimés associés au logiciel : le guide de l'utilisateur, de l'enseignant, le(s) cahier(s) d'activités ou d'exercices, etc.

40.1-Aspects généraux

40.1.1 Y a-t-il une documentation écrite ?

Oui _____ Non _____ Si non, passez à la cinquième partie (50).

40.1.2 La documentation présente-t-elle la procédure à suivre pour installer le logiciel ?

Oui _____ Non _____

40.1.3 La documentation explique-t-elle clairement le fonctionnement du logiciel ?

Oui _____ Non _____

40.1.4 La documentation décrit-elle les particularités et/ou les limites de fonctionnement du logiciel ?

Oui _____ Non _____

40.1.5 La documentation présente-t-elle les objectifs pédagogiques du logiciel ?

Oui _____ Non _____

40.1.6 la fiche signalétique du logiciel est-elle présente dans la documentation ?

Oui _____ Non _____

40.1.7 La documentation précise-t-elle les notions préalables ?

Oui _____ Non _____

40.1.8 Trouve-t-on dans la documentation des informations sur le contenu notionnel ?

Oui _____ Non _____ Ne s'applique pas _____

40.1.9 Les notions théoriques importantes sur lesquelles s'appuie le logiciel sont-elles expliquées dans la documentation ?

Oui _____ Non _____ Ne s'applique pas _____

40.1.11 La documentation informe-t-elle l'enseignant sur le temps qu'il faudrait accorder aux étudiants pour qu'ils puissent apprendre à manipuler le logiciel ?

Oui _____ Non _____ Ne s'applique pas _____

40.1.12 La documentation informe-t-elle sur l'assistance disponible dans le logiciel ?

Oui _____ Non _____ Ne s'applique pas _____

40.2- OUTILS COMPLÉMENTAIRES

40.2.1 La documentation propose-t-elle des outils didactiques complémentaires pouvant aider l'enseignant à intégrer convenablement le logiciel à son enseignement ? (manuels scolaires, livres d'exercices, articles de revues, logiciels, laboratoire réel, etc.)

Oui _____ Non _____

40.3- ÉVALUATION DES APPRENTISSAGES.

40.3.1 La documentation explique-t-elle clairement à l'enseignant l'évaluation des apprentissages faite par le logiciel ?

La documentation offre des renseignements sur l'évaluation des apprentissages faite par le logiciel pour que l'enseignant sache à quoi s'en tenir : quel genre d'évaluation est-ce ? Quels sont les critères de réussites ? Comment interpréter les résultats ? Ainsi de suite.

Oui _____ Non _____ Ne s'applique pas _____

40.3.2 La documentation informe-t-elle l'enseignant des moyens à utiliser pour vérifier l'atteinte des objectifs ? (Ex : évaluation faite par le logiciel, questionnaire, évaluation écrite).

Oui _____ Non _____ Ne s'applique pas _____

40.4- LIMITES DU LOGICIEL

40.4.1 La documentation informe-t-elle l'enseignant sur les limites liées à la dimension pédagogique, comme celles relatives au contenu ou aux concepts ?

Oui _____ Non _____ Ne s'applique pas _____

40.4.2 La documentation informe-t-elle l'enseignant sur les limites liées à la dimension technique du logiciel comme la lenteur dans l'exécution de certaines procédures du programme informatique ?

Oui _____ Non _____ Ne s'applique pas _____

40.5- ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES

40.5.1 La documentation contient-elle des activités pédagogiques ?

Oui _____ Non _____ Si non, passez à la section (40.7)

40.5.2 La documentation propose-t-elle des activités de réinvestissement (applications, des exercices, des problèmes à résoudre, etc.) ?

Oui _____ Non _____

40.5.3 La documentation informe-t-elle l'enseignant sur le nombre d'activités proposées aux étudiants que ceux-ci doivent faire à la fin de chaque session de travail ?

Oui _____ Non _____

40.5.4 La documentation informe-t-elle sur la façon d'exploiter le logiciel ?

Organisation du groupe-classe, travail individuel ou en équipe ; nombre d'étudiants par équipe, temps moyen alloué à chacune des activités, etc.)

Oui _____ Non _____

40.5.5 La documentation renseigne-t-elle sur l'équipement de base et les périphériques qui sont nécessaires au bon fonctionnement de l'activité ?

Faut-il un minimum d'appareil par élève ? une imprimante, un lecteur CD-Rom ? Etc.

Oui _____ Non _____

40.5.7 La présentation des activités (mise en forme) convient-elle à la clientèle ?
(consignes, feuilles d'exercices, dessins).

Oui _____ Non _____

40.5.8 Les activités proposées aux étudiants sont-elles adaptées à leur niveau de compréhension linguistique ?

Oui _____ Non _____

40.6- PRÉSENTATION

40.6.1 Comment qualifiez-vous l'organisation de l'information dans la documentation ?

Facile à utiliser bien organisée, structurée et hiérarchisée ?

A : Excellente ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvaise.

40.6.2 Comment qualifierez-vous la présentation matérielle de la documentation ?

La documentation est-elle de bonne qualité physique, bien imprimée, d'un format utile, facile à manier ?

A : Excellente ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvaise.

40.6.3 Comment qualifierez-vous la documentation sur le plan esthétique ?

Il s'agit ici de qualifier la mise en page, la présentation, l'utilisation de la typographie et des illustrations, l'esthétique de la page couverture et de l'ensemble de la documentation ?

A : Excellente ; B : Bonne ; P : Passable ; C : Mauvaise.

NOTES ET COMMENTAIRES

Pour rédiger vos commentaires, revoyez chacune des parties abordées et commentez-les :

Aspects généraux : _____

Outils complémentaires : _____

Évaluation des apprentissages : _____

Limites du logiciel : _____

Activités pédagogiques : _____

Présentation : _____

(S.V.P., utilisez le verso au besoin)

CINQUIÈME PARTIE

50- LA PERTINENCE DU MÉDIUM

Il est nécessaire de se demander si l'utilisation d'un logiciel comme support pédagogique est pertinente pour arriver aux fins visés. Aurait-on pu utiliser d'autres moyens ? A-t-on choisi le bon médium compte tenu des apprentissages à réaliser, de la stratégie offerte, de l'implication des étudiants dans une démarche par découverte, des résultats présentés et obtenus ?

50.1.1 Le logiciel permet-il d'atteindre les objectifs d'apprentissage mieux que pourraient le faire d'autres médias (Ex : manuel, vidéo, film, cahier d'exercices) ?

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

50.1.2 Compte tenu des objectifs visés, l'utilisation de l'ordinateur est-elle justifiée ?
L'ordinateur peut-il conduire aux objectifs pédagogiques de façon plus efficace et plus sécuritaire pour l'étudiant (économie en temps et en argent) ?

A : Totalement ; B : Beaucoup ; C : Peu ; D : Pas du tout.

50.1.3 Pour enseigner la génétique, le professeur peut-il remplacer le laboratoire réel par ce didacticiel ?

Oui _____ Non _____

50.1.4 Si vous aviez à classer ce didacticiel, dans quelle catégorie le mettriez-vous ? (S'il correspond à plusieurs types, indiquez-les.)

a) exerciceur : _____ ; b) tutoriel : _____ ; c) jeu éducatif : _____ ;
d) simulation : _____ ; e) modélisateur : _____ ; f) autres : _____ ;

NOTES ET COMMENTAIRES

Pour rédiger vos commentaires, revoyez la partie abordée sur la pertinence du médium et commentez-la :

SYNTHÈSE GLOBALE

Il est important maintenant de rédiger un court texte qui reflète l'évaluation dans sa totalité. C'est plus qu'une simple addition de vos appréciations précédentes. Vous devez rendre compte de la valeur globale du matériel, de ses qualités et défauts fondamentaux. Vous faites ici un bilan global de l'évaluation que vous venez de mener. Le texte doit aller à l'essentiel.

Texte synthèse :

(Au besoin, utilisez d'autres feuilles supplémentaires)

IDENTIFICATION DES ÉVALUATEURS

Noms : _____

Fonction(s) : _____
-----Si enseignant(e) (secondaire, collégial ou universitaire) :

matière(s) enseignée(s) : _____

Avez-vous eu l'occasion d'évaluer des logiciels éducatifs ? Oui _____ Non _____
-----Si étudiant(e), précisez :

Niveau actuel d'études : _____

Avez-vous eu l'occasion d'évaluer des logiciels éducatifs ? Oui _____ Non _____
-----Environnement informatique ayant servi à l'évaluation :

Type d'ordinateur : _____

Mémoire vive : _____

Périphériques utilisés : _____

Date de l'évaluation : _____

Merci encore de votre collaboration.

Annexe 4

Liste des professionnels participants à la mise à l'essai fonctionnelle

Liste des "experts" participants à la mise à l'essai fonctionnelle
indiquant leur spécialisation et leur lieu de travail

Experts	Matière enseignée	Établissement scolaire
Expert 1	Chimie	Villa Ste-Marcelline 815, Uper Belmont ; Westound
Expert 2	Biologie	École secondaire Jean XXII 1301, Avenue Dawson ; Dorval
Expert 3	Biologie	École secondaire Van-Horne 6755, Lavoie ; Montréal
Expert 4	Biologie	Collège St-Louis 9343, Jean-Milot ; Lasalle
Expert 5	Biologie	Collège Notre-Dame du Sacré Coeur 3791, Queen Mary ; Montréal
Expert 6	Biologie	École secondaire Van-Horne 6755, Lavoie ; Montréal
Expert 7	Physique-Chimie	Collège Stanislas 780, Boulevard Dollard ; Montréal
Expert 8	Biologie	Collège Villa-Maria 4245, Décarie ; Montréal
Expert 9	Informaticien-biologiste	Étudiant à l'université de Montréal

Annexe 5

Guide d'utilisation du professeur

1. Préambule

Ce guide a pour but de vous offrir l'information nécessaire pour une exploitation adéquate du simulateur "GÉNÉTIQUE". Il décrit la procédure d'installation sur le disque dur de l'ordinateur, le rôle de chacune de ses unités, les objectifs d'apprentissage qui orientent chacun des laboratoires, la démarche pédagogique suggérée, les limites pédagogiques et techniques du simulateur et la fiche signalétique de celui-ci.

Après l'installation, nous vous suggérons d'explorer le didacticiel selon votre goût, votre instinct, afin de l'appivoiser. Il sera probablement nécessaire de retourner à la documentation, tout au moins en partie, pour mieux comprendre son fonctionnement, pour connaître ses objectifs, son contenu, sa démarche et ses limites.

2. Description et but du simulateur

"Génétiq" est un logiciel éducatif qui couvre une partie du programme de la génétique dispensé au collégial et dans certaines écoles de niveau secondaire.

Son but est de permettre aux étudiants d'appréhender les lois probabilistes de la génétique mendélienne. Avec ce simulateur les étudiants peuvent s'investir et raisonner de manière inductive pour découvrir les lois de Mendel. Il s'adresse aussi aux enseignants qui désirent l'intégrer à leur pratique pédagogique.

Par ailleurs, dans le but de répondre à des situations de motivation, "Génétiq" met à la disposition des étudiants un exerciceur qui leur permet de vérifier et, par le fait même, d'améliorer leurs apprentissages à l'aide d'exercices et de problèmes. Pour rendre ces activités plus agréables, nous avons sélectionné des exercices dont les énoncés relatent des situations réelles. L'exerciceur respecte la succession des trois phases principales lors d'une résolution de problèmes: lecture de l'énoncé, la résolution et la solution. À ces trois étapes, nous avons ajouté une phase capitale qui est la consultation d'indices "aide" permettant de soutenir l'effort de l'étudiant dans l'exécution de sa tâche. L'étudiant peut appeler cette aide tout au long du processus de la résolution. Il agit comme un outil d'évaluation formatif et sommatif pour l'utilisateur et comme un instrument de diagnostic pour l'enseignant.

3. Préalables

Pour tirer profit du didacticiel "Génétique", l'étudiant doit connaître les notions suivantes: l'espèce ; hybridation ; variation ; chromosomes ; fécondation ; zygote ; haploïde ; diploïde ; gamètes ; mitose ; méiose ; reproduction sexuée et asexuée ; rencontre des gamètes chez les végétaux et chez les animaux.

4. Squelette du simulateur "GÉNÉTIQUE"

"Génétique" est constitué de deux parties (figure 1). Les "Piles" qui gravitent autour d'une pile maîtresse appelée "*Principale*" et les "*Movies*" qui sont des films supportant des images pour visualiser et illustrer les caractères héréditaires. La "*Principale*" est la porte d'entrée et de sortie du système. Elle assume les rôles suivants:

- 4.1- présente le didacticiel et informe sur la façon de le manipuler ;
- 4.2- présente et explique le rôle des icônes de navigation dans le didacticiel ;
- 4.3- présente le concepteur, l'année de réalisation et le lieu de développement ;
- 4.4- vérifie l'identification de l'utilisateur au moment où il lance le système et au moment où il demande à consulter son dossier ;
- 4.5- assure le suivi des étudiants en versant dans la pile des "*Données*" les résultats des expériences des croisements réalisés ainsi que les notes obtenues. La pile des "*Données*" n'est pas accessible aux étudiants, seul le professeur peut y avoir accès en composant un code particulier (2222) ;
- 4.6- gère l'orientation et les déplacements dans les différentes sections du logiciel ;
- 4.7- achemine les résultats expérimentaux et les notes de la pile "*Données*" à la pile "*Dossiers*".

Le rôle de la pile des "*Dossiers*" est de garder une trace détaillée de chaque étudiant dans un fichier qui lui est réservé. Elle compile les résultats expérimentaux, les conclusions

et les notes dans des dossiers personnels. Les dossiers sont accessibles aux utilisateurs et au professeur à n'importe quel moment et de n'importe quel endroit du logiciel.

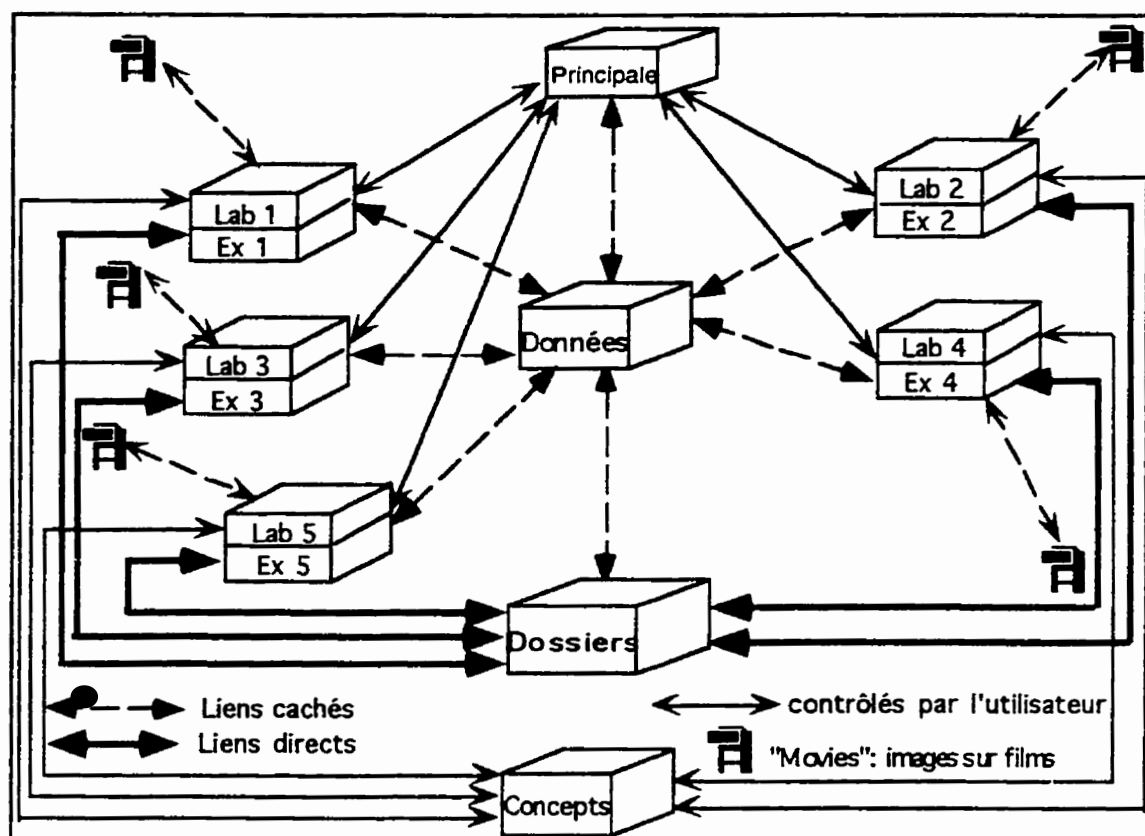


Figure 1: Squelette du logiciel "GÉNÉTIQUE"

5. Équipements requis

"Génétiq" tourne sur Macintosh sous système 7 ou une version plus évoluée. Il est supporté par les divers types de Macintosh LC, Mac II, Centris et les gammes de PowerPC. Pour une meilleure exploitation du logiciel, l'ordinateur doit être équipé d'un disque dur d'au moins 6 Méga-octets de mémoire vive et de 20 Mo d'espace libre. Un écran couleur de 26 cm ou plus est indispensable pour pouvoir afficher et mettre en évidence les caractères héréditaires en couleur présents dans les "Movies". Une connaissance du bureau Macintosh, y compris la façon de dérouler les menus, la manière de sélectionner, de créer un alias sont aussi indispensables à connaître par la personne qui va procéder à l'installation.

Le pilotage du simulateur se fait uniquement avec la souris. L'imprimante est facultative mais souhaitable pour permettre aux étudiants d'imprimer leurs travaux et le contenu de leur dossier. À la fin du document, vous trouverez la fiche signalétique du logiciel qui résume ces données techniques.

Les disquettes que vous avez reçues sont verrouillées. Assurez-vous que l'onglet au coin droit des disquettes est placé de telle manière qu'un trou soit apparent. Cela vous évitera d'effacer par erreur les disquettes originales ou de modifier leur contenu. Faites une copie de sauvegarde après l'installation.

6. Installation de "Génétiq" sur le disque dur

Les points suivants résument les étapes pour installer le didacticiel "Génétiq" sur le disque dur de l'ordinateur :

- 6.1- créer sur le disque dur un nouveau dossier que vous nommerez "Génétiq" ;
- 6.2- placer le contenu des disquettes dans le dossier "Génétiq", sauf la police "Génétiq" ;
- 6.3- glisser la police "Génétiq" au dessus du système d'exploitation, où se trouve la valise des polices, et répondez au message par "oui" ;
- 6.4- ouvrir le dossier "Génétiq" que vous venez de créer ;
- 6.5- sélectionner la "Principale". Dérouler le menu Fichier, dans la barre des menus choisissez créer un alias ;
- 6.6- glisser à l'extérieur du disque dur l'alias que vous venez de créer et placez-le dans le coin inférieur gauche de l'écran. Sélectionner le nom et supprimer (*alias*) de manière à ne laisser que "Principale" ;
- 6.7- redémarrer votre ordinateur à partir de "Rangement" dans la barre des menus ;
- 6.8- si les étapes précédentes ont été respectées, vous devez constater au coin inférieur gauche de l'écran la "Principale".

7. Lancement de "Génétique"

Cliquer deux (2) fois de suite sur "*Principale*", que vous avez placé au coin inférieur gauche de l'écran, vous verrez alors apparaître, après un certain temps, à l'écran la (figure 2).

- Si l'étudiant sélectionne "*Objectifs*", il pourra lire les objectifs que nous souhaitons lui faire atteindre ;
- en choisissant "*Démarche*", l'ordinateur affiche la démarche pédagogique suggérée par le système ;
- si l'étudiant clique sur l'icône "*Mode d'utilisation*", l'ordinateur lui présentera les différentes icônes de navigation et d'action du système.

Pour avoir accès au reste du système, deux possibilités sont offertes : soit que l'étudiant utilise pour la première fois le logiciel, dans ce cas il clique sur "*Nouveau dossier*"; soit qu'il a déjà utilisé le système, donc ayant un dossier en son nom, dans ce cas il demande "*Nouvelle séance*".

7.1- En cliquant sur "*Nouveau dossier*", le système demande de saisir, d'abord, le nom de famille et, ensuite, le prénom. Si aucun dossier ne porte la même identification que celle qui a été saisie, l'ordinateur crée un fichier personnel au nom de l'étudiant dans les piles "*Données*" et "*Dossiers*" et lui accorde un code composé de 3 chiffres. Ce code sera réclamé au début de chaque nouvelle séance.

7.2- En cliquant sur "*Nouvelle séance*", l'ordinateur réclame le code d'accès et le compare à celui existant dans son fichier personnel. Si les deux codes sont identiques, l'ordinateur autorisera l'accès, si non l'accès sera refusé.

Il est impossible de pénétrer dans le système sans ce code. Il est donc important d'informer les étudiants d'enregistrer et/ou de mémoriser leur code afin qu'ils puissent utiliser le logiciel ultérieurement.

CLIQUER SUR L'ICONE DE VOTRE CHOIX

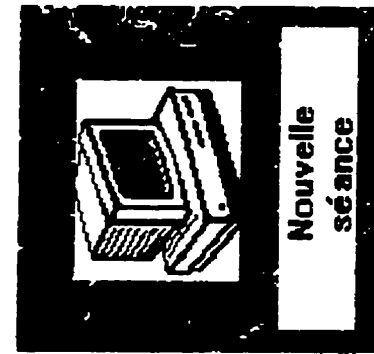
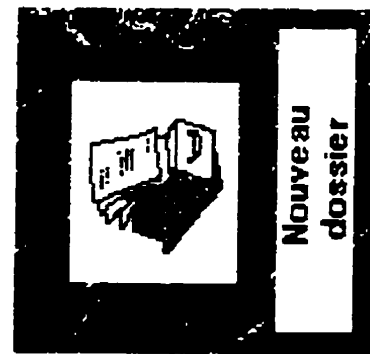
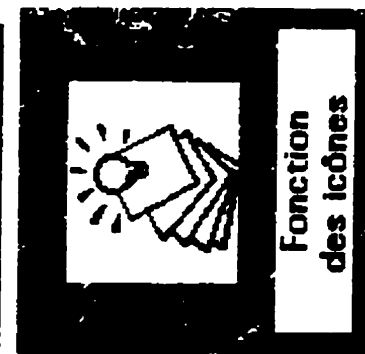
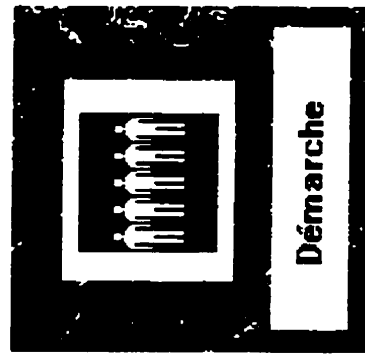


Figure 2: Choix des icônes

Une fois l'accès est permis, que ce soit dans le cas d'une "nouvelle séance" ou dans le cas d'un "nouveau dossier", l'ordinateur donne des informations sur le concepteur, l'année de conception et le lieu où le logiciel a été développé. En cliquant sur "continuer", l'étudiant aboutit à la page-écran représentée par la (figure 3). En cliquant sur "MENU", l'utilisateur défile le menu principal qui gère l'orientation dans les différentes sections du logiciel.

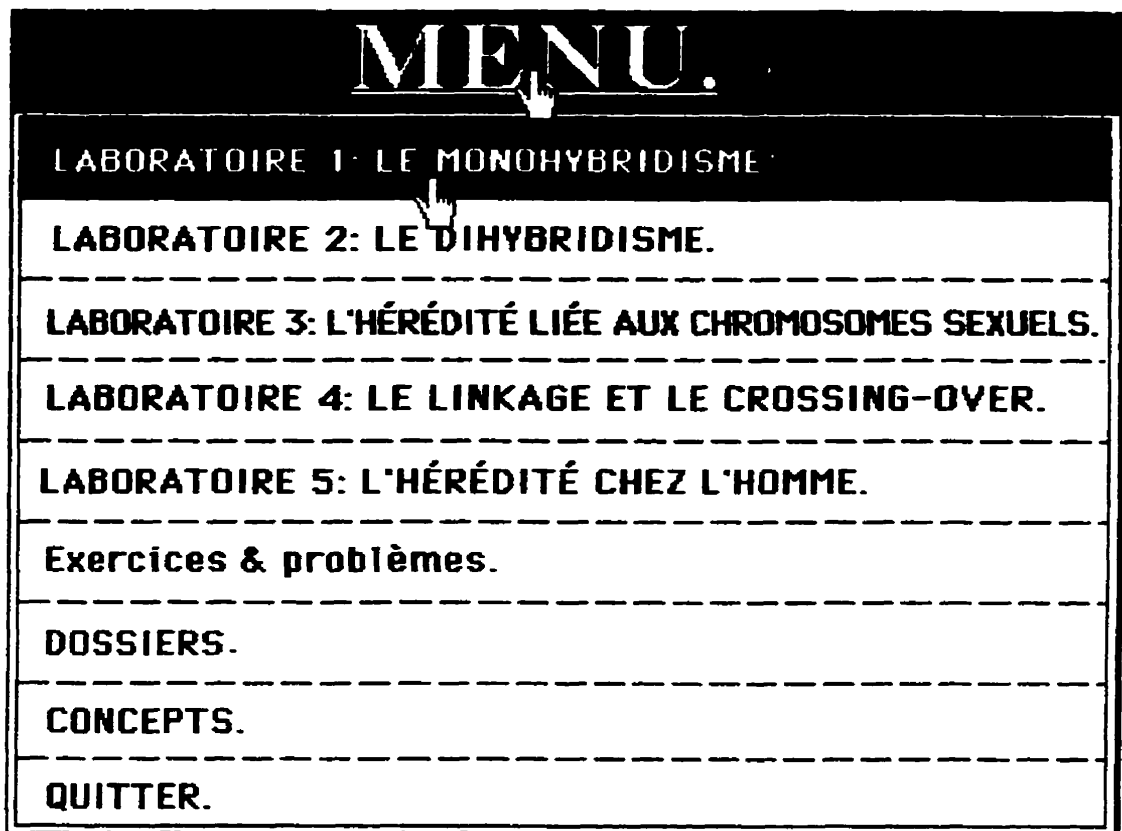


figure 3 : Menu principal permettant les déplacements dans les différentes parties du logiciel.

Ici, nous suggérons aux étudiants de commencer par le "Laboratoire1", suivi du "Laboratoire2" et ainsi de suite. D'ailleurs, à chaque nouvelle séance, le système vérifie la progression hiérarchique de l'étudiant. Si celle-ci ne lui permet pas de travailler dans une section plus avancée, l'ordinateur le lui fera savoir.

8. Présentation des "Laboratoires"

Chaque pile débute par le titre et les objectifs du "Laboratoire" :

- le "Laboratoire1" invite l'étudiant à mener des expériences sur un seul caractère héréditaire : le monohybridisme ;
- le "Laboratoire2" propose des expériences mettant en jeu deux caractères héréditaires indépendants : le dihybridisme ;
- le "Laboratoire3" est centré sur la génétique liée aux chromosomes sexuels ;
- le "Laboratoire4" suggère des expériences sur deux caractères héréditaires liés : Linkage et Crossing-over ;
- le "Laboratoire5" invite l'étudiant à construire des Pedigree à partir de situations héréditaires connues chez l'Homme : la génétique humaine.

Après la présentation du titre et des objectifs du laboratoire, l'étudiant sélectionne l'un des deux blocs qui forment le laboratoire : le premier bloc conduit à des expériences sur des animaux le deuxième sur des végétaux. Ce choix permet de connaître le(s) caractère(s) héréditaire(s) qui sera manipulé dans le bloc choisi : couleur du pelage chez la souris ; couleur des fleurs chez la belle-de-nuit ; couleur du corps et forme des ailes chez la Drosophile ; couleur et forme des graines chez le Pois ; le daltonisme et la transmission des groupes sanguins chez l'être humain ; etc.

Nous précisons, dans ce qui suit, l'architecture des cinq "Laboratoires", les objectifs d'apprentissage et la progression pédagogique au niveau de chacune des sections qui composent ces laboratoires.

8.1. "Laboratoire1"

8.1.1. Architecture du "Laboratoire1"

L'architecture du "Laboratoire1", comme celle du "laboratoire2" et du "laboratoire3", est composée de deux grands blocs. La structure de ces deux blocs est identique dans les

trois piles. Le premier bloc propose des croisements sur des animaux et le second sur des végétaux. Chaque bloc est divisé en trois sections (figure 4). La première, intitulée expérimentation, convie l'étudiant à choisir et à réaliser les croisements qu'il souhaite faire, l'incite à manipuler le(s) caractère(s) héréditaire(s) choisi(s) et à observer les résultats expérimentaux générés par chacun des croisements choisis. La seconde section, appelée vérification, permet à l'étudiant de faire un lien entre les résultats phénotypiques obtenus lors de l'expérimentation et les génotypes des parents croisés. La troisième section intitulée conclusion, conduit l'étudiant à élaborer une synthèse sur ses observations et sur ses expérimentations.

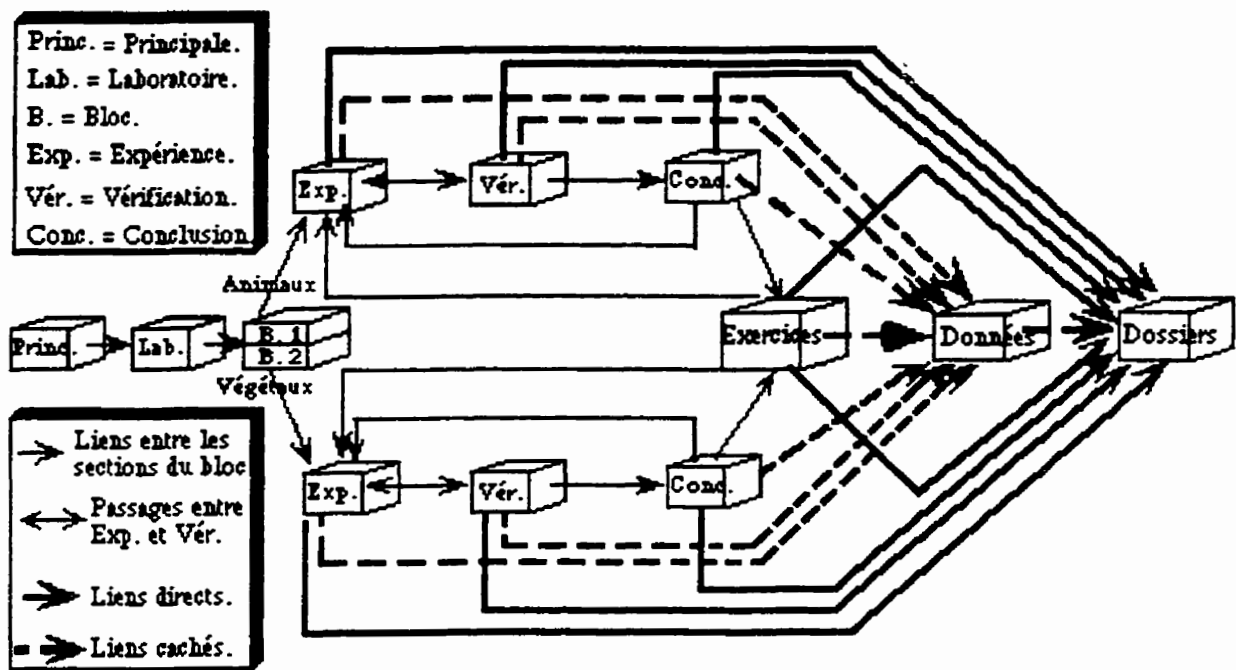


Figure 4 : Liens entre les sections dans les piles " Laboratoire 1, 2, et 3 ".

La progression pédagogique est identique dans les deux blocs des trois piles. L'étudiant réalise un certain nombre de croisements afin d'obtenir et d'observer des résultats, ce qui lui permet de tirer des conclusions significatives. Le nombre des croisements varie d'un laboratoire à l'autre ; mais il est égale dans les deux blocs du même laboratoire. Le nombre des croisements est limité à ceux que nous avons considéré comme étant significatifs et pouvant conduire l'étudiant à des conclusions constructives. Ainsi nous avons jugé inutile de faire réaliser à l'apprenant plusieurs croisements qui donneraient des résultats similaires. Par exemple, le croisement d'un mâle homozygote dominant et d'une femelle homozygote récessive engendre une descendance dont les caractéristiques seraient identiques à la

génération issue du croisement réciproque. Ceci ne veut pas dire que nous limitons l'action et les choix de l'étudiant, au contraire, il peut faire autant de croisements qu'il le désire ; mais tant qu'il n'aura pas fait ceux que nous avons appelé "*Croisements types*", il ne pourra pas construire une conclusion pertinente. Ces "*Croisements types*" sont au nombre de :

- cinq (5) dans chacun des deux blocs du monohybridisme ;
- quatre (4) dans chacun des deux blocs du dihybridisme avec gènes indépendants ;
- quatre (4) dans le "*Laboratoire 3*" (hérédité liée au sexe) ;
- un (1) dans le "*Laboratoire 4*" (linkage et crossing-over).

Le "*Laboratoire5*" centré sur l'hérédité humaine est différent des autres laboratoires. Il ne comporte pas de croisements mais fait appel à la reconstitution d'arbres généalogiques ou "*pedigree*" à partir de situations et de faits connus chez l'être humain.

Quant aux objectifs pédagogiques, ils diffèrent d'un laboratoire à l'autre mais demeurent identiques pour les deux blocs d'un même laboratoire.

8.1. Le "laboratoire1"

8.1.2. Objectifs du "Laboratoire1"

- réaliser les cinq(5) croisements types afin de pouvoir construire une synthèse adéquate ;
- suivre la transmission des caractères héréditaires chez les végétaux et chez les animaux ;
- distinguer une lignée pure d'une race hybride ;
- différencier entre les notions de phénotype et de génotype ;
- prédire le(s) phénotype(s) de chaque descendance issue des croisements choisis ;
- établir des liens étroits entre les données statistiques phénotypiques de la descendance et les génotypes des parents ;

- définir dans ses propres termes la loi de l'uniformité des hybrides : tous les hybrides de la première génération (F1) sont semblables les uns aux autres et semblables à l'un des deux parents (dans le cas d'une dominance complète) ;
- construire sans erreurs la conclusion à la fin de chaque section ;
- réussir les exercices et les problèmes sur le monohybridisme avec une note > 45 %.

8.1.3. Démarche pédagogique :

Pour compléter un bloc, l'étudiant doit effectuer un certain nombre d'opérations dans trois (3) phases successives qui sont l'expérimentation, la vérification et la conclusion.

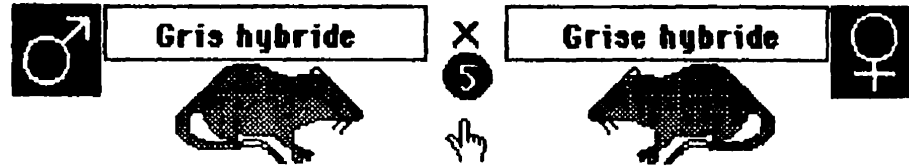
8.1.3.1. Démarche au niveau de la phase expérimentation

Dans cette phase, illustrée par la (figure 5), l'étudiant doit exécuter deux séries de consignes. En cliquant sur "*Consignes & aide*", une fenêtre apparaîtra affichant ces instructions.

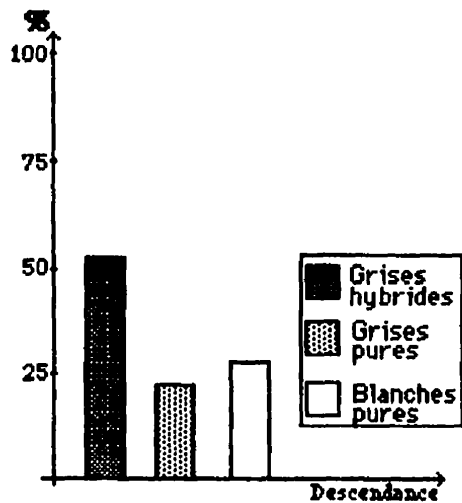
Couleur du ♂ ②

Couleur de la ♀ ③

Phénotypes de la descendance ? ④



15:30:00
00:12:32



50% grises hybrides + 25% grises pures + 25% blanches pures

Nombre des portées	Nombre total de la descendance	Nombre et % des blanches pures		Nombre et % des grises pures		Nombre et % des grises hybrides.		% total
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
1	7	0	0	3	42.90	4	57.10	100
2	9	4	44.40	2	22.20	3	33.30	100
3	10	2	20.00	1	10.00	7	70.00	100
4	10	4	40.00	1	10.00	5	50.00	100
5	11	4	36.40	2	18.20	5	45.50	100
6	6	1	16.70	1	16.70	4	66.70	100
Moyenne \bar{X}	9	2	26.00%	2	20.00%	5	54.00%	100

Concepts *
Vérification ⑥
Quitter *
Menu *
Dossier *
Consignes & aide ①

Figure 5: Page-écran de la phase expérimentation

- ① - Choisissez les caractères des parents en cliquant sur "**Couleur du ♂**" et sur "**Couleur de la ♀**". Vous pouvez commencer par l'un ou l'autre.
- ② - Formuler votre hypothèse à partir de "**Phénotypes de la descendance ?**".
- ③ - Pour exécuter vos choix, fermez cette fenêtre en cliquant n'importe où sur l'écran ou sur "**Consignes & aide**".

Pour observer la descendance et les résultats générés par le croisement, l'étudiant exécute une seconde série d'instructions :

- ① - Cliquez sur le symbole **X** situé entre les parents pour faire apparaître la génération issue du croisement.
- ② - Répétez l'opération ① au moins six (6) fois pour obtenir des résultats significatifs. L'ordinateur peut accomplir cette tâche à votre place.
- ③ - Pour vérifier votre hypothèse, cliquez sur "**Vérification**" symbolisée par le microscope.
- ④ - Pour fermer cette fenêtre ou relire ces consignes, cliquez sur "**Consignes & aide**".

Au terme de la 6ème génération, l'étudiant peut soit augmenter le nombre des portées en répétant la première consigne, soit de passer à la vérification.

8.1.3.2. Démarche au niveau de la phase vérification

En cliquant sur "*Vérification*", l'ordinateur verse les choix effectués lors de l'étape précédente dans le dossier de l'étudiant et inscrit le dernier croisement dans le champ intitulé "croisements réalisés". La première opération est invisible à l'étudiant, alors que la seconde permet de lui rappeler les croisements effectués pour lui éviter de refaire les mêmes croisements inutilement. Si l'étudiant choisit un croisement déjà réalisé, il sera avisé par l'ordinateur et, dans ce cas, il aura la possibilité soit de le garder ou de le modifier. Ensuite, l'ordinateur conduit l'étudiant dans une nouvelle carte qui est subdivisée en deux parties (figure 6). Une partie supérieure résume les données de la phase précédente et une partie inférieure réservée à la vérification.

Résumé des données du croisement précédent.

Faire hypothèse:

Vous avez répondu que la génération sera composée de 50% grises hybrides + 25% grises pures + 25% de blanches pures.

Nombre et % de la génération précédente	
Nombre	%
blanches pures	2 26 %
grises pures	2 20 %
grises hybrides	5 54 %
Total:	9 100%

01:25:05
00:05:05

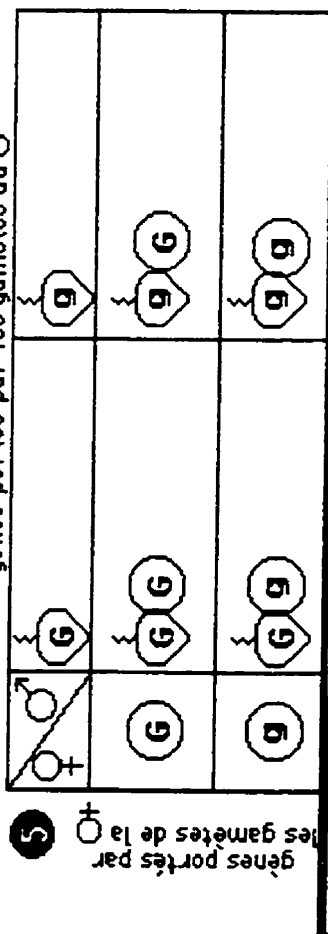
Interprétation génotypique du croisement précédent.



gamètes des parents avant la méiose.

gamètes des parents après la méiose.

gènes portés par les gamètes du ♂



gènes portés par les gamètes de la ♀

Proportions des différents génotypes:

Gris pur	1/4
Gris hybride	2/4
Blanc pur	1/4

souris grises
souris blanches

Autres croisements **7** Dossier *****

Constans & aide **1**

Figure 6: page-écran de la phase vérification

Dans la phase de la vérification, l'étudiant doit exécuter une autre série de consignes qui sont :

- 1- La partie supérieure résume les données du croisement précédent.
- 2- La partie inférieure vous permet de faire un lien entre les données phénotypiques de la descendance et les génotypes des parents.
 - a- Cliquez sur "Génotype du ♂" et "Génotype de la ♀" pour choisir les génotypes des deux parents.
 - b- Cliquez sur X situé entre les deux parents pour faire apparaître les gamètes.
 - c- Placez convenablement ces gamètes à l'intérieur de l'échiquier de croisement et, à la fin, observez la composition statistique de la génération.
- 3- Pour fermer cette fenêtre ou relire ces consignes, cliquez sur "Consignes & aide"

À ce stade, l'étudiant devra s'apercevoir qu'il y a un lien entre les phénotypes de la descendance et les génotypes portés par les gamètes des parents. À la fin de la vérification, l'étudiant compare et analyse ses prédictions et les résultats expérimentaux obtenus. Ensuite, il est invité à faire d'autres croisements en activant le bouton "Autres croisements". À ce même moment les choix opérés et les résultats obtenus dans cette partie sont versés dans son dossier présent dans la pile des "Données".

D'autres options sont aussi offertes à l'étudiant en phase expérimentale ou en phase vérification. La (figure 7) illustre les boutons présents dans les deux phases que l'étudiant peut activer, à n'importe quel moment, pour :

Boutons qui commandent des actions dans une même pile.



Boutons qui déplacent l'utilisateur d'une pile à l'autre.



Figure 7: Icônes qui commandent diverses actions dans le système.

- consulter un concept inconnu en cliquant sur "*Concepts*". On retourne au point de départ original à l'aide du bouton "*Retour*";
- consulter son dossier en cliquant sur "*Dossier*";
- aller au menu principal en cliquant sur "*Menu*" afin d'opérer d'autres choix ;
- quitter définitivement le système en cliquant sur "*Quitter*".

Ces boutons sont accessibles à partir de n'importe quel endroit du logiciel, y compris la pile des "*Exercices & problèmes*". Lorsque l'étudiant aura terminé l'ensemble des "*Croisements types*", il reçoit un message pour passer à l'étape subséquente qui est la conclusion.

8.1.4. Démarche au niveau de la conclusion

Ici aussi, l'utilisateur dispose de "*Consignes & aide*" qui vont lui permettre de connaître les étapes à suivre pour mener à terme sa conclusion. Ces directives sont :

- La fenêtre, située en haut de l'écran, contient des éléments que vous devez placer un par un à l'intérieur des rectangles. Il suffit de sélectionner l'élément dans la fenêtre et de cliquer dans la case appropriée pour le placer dedans.
- Lorsque vous auriez terminé cette étape, cliquez sur "*Correction*". L'ordinateur fera la correction en pointant la case qui contiendrait un élément éronné. Pour changer l'élément faux, sélectionner dans la fenêtre celui que vous désirez remplacer et recliquer dans la case indiquée. Cliquez sur "*Correction*". Pour chaque faute, 10 points seront soustraits de votre note finale.
- À la fin de la correction, une question vous sera posée. 4 réponses sont proposées en bas et à gauche de l'écran. Cliquez sur celle qui vous semble exacte.
- Cliquez sur "*Terminé*" pour enregistrer les résultats de la conclusion dans votre dossier
- Pour relire ces consignes et/ou fermer cette fenêtre, cliquez sur "*Consignes & aide*".

À l'écran, cette conclusion est illustrée par la (figure 8) de la page suivante. La conclusion se déroule en deux temps. La première étape consiste à remplir les cases vides par des lettres, des mots et des nombres qui figurent dans une liste intitulée "*Liste des éléments*". Cette liste apparaît dès l'ouverture de la page-écran. L'étudiant peut aussi l'appeler à n'importe quel moment en cliquant sur "*liste des éléments*". La façon d'exploiter cette liste est expliquée dans le premier point des consignes.

La deuxième étape, invite l'étudiant à répondre à une question complémentaire formulée ainsi : "Comment expliquez-vous l'apparition du nouveau phénotype dans la descendance ?". Il doit donc cliquer sur un des quatre boutons situés en bas à gauche de l'écran. Ce qu'il faut noter ici, c'est que ces boutons sont cachés. Ils n'apparaissent que lorsque l'étudiant termine la correction de la première partie. Une note comprise entre 0 et 100 est attribuée à la première partie. À chaque erreur, l'ordinateur soustrait 10 points jusqu'à la fin de la correction.

Une seconde note, également comprise entre 0 et 100, est allouée à la réponse complémentaire. En sélectionnant la première, l'étudiant obtient 100 points, s'il choisit une des trois autres réponses sa note sera de 0. L'ordinateur calcule la moyenne des deux notes. Une note globale inférieure à 70% l'invite à refaire la conclusion, alors qu'une note supérieure à 70% l'autorise à passer à une nouvelle étape. Là, l'ordinateur verse les résultats et les notes dans son dossier et conduit l'étudiant au début du bloc 2 du laboratoire1 : expériences sur les végétaux.

En travaillant dans le bloc 2, l'étudiant doit suivre la même démarche que précédemment en complétant le bloc 2 par une conclusion identique à celle de la (figure 8) mais portant sur la belle-de-nuit. Dans la conclusion du bloc 2, l'étudiant devrait se rendre compte qu'il y a des exceptions à ce qu'il a constaté dans le bloc 1. En effet, l'exemple avec la belle-de-nuit montre que la génération issue d'un croisement de deux fleurs hybrides de couleur rose donne des proportions qui sont de l'ordre de : 1/4 de fleurs rouges, 1/2 de fleurs roses et 1/4 de fleurs blanches. Contrairement à la conclusion sur les souris, où la génération issue de deux hybrides est constituée de : 1/4 de souris blanches et 3/4 de souris grises.

8.2. "Laboratoire 2"

8.2.1. Objectifs du "Laboratoire 2"

- identifier et conduire les croisements types afin de pouvoir construire une synthèse adéquate ;
- suivre la transmission de deux caractères héréditaires chez la Drosophile et chez le Pois ;
- distinguer entre les notions de phénotype et de génotype ;

- définir dans ses propres termes la loi de l'uniformité des hybrides : les hybrides de la première génération (F1) sont semblables les uns aux autres ;
- identifier les catégories de gamètes formés par l'hybride et leur fréquence ;
- expliquer l'apparition de 2 caractères nouveaux dans la génération issue du croisement entre deux parents hybrides ;
- compléter sans erreurs la conclusion sur la drosophile et sur le Pois ;
- réussir les exercices et les problèmes du "*Laboratoire2*" avec une note supérieure à 45%.

8.2.2. Structure de la pile et démarche dans le "*Laboratoire2*"

La structure de cette pile est identique à celle de la pile "*Laboratoire1*", la progression pédagogique est également la même. La seule différence qui existe entre les deux laboratoires réside dans la démarche lors de la vérification. Dans le "*Laboratoire1*" c'est l'étudiant qui déplace les gamètes des parents dans l'échiquier de croisement, ici c'est l'ordinateur qui remplit cette tâche. Nous avons intégré cette procédure dans le programme du logiciel afin d'accélérer le processus ; mais aussi pour dispenser l'utilisateur d'exécuter certaines tâches inutiles, souvent routinières et pouvant amener au rejet.

8.3. "*Laboratoire 3*"

8.3.1. Objectifs du "*Laboratoire 3*"

- identifier et réaliser les croisements types afin de pouvoir construire une synthèse adéquate ;
- conduire des croisements entre deux lignées pures de Drosophiles différant par la coloration des yeux : une race "*sauvage*" aux yeux rouges et une race "*mutée*" aux yeux blancs ;
- interpréter les résultats obtenus dans chacun des croisements effectués ;
- établir un rigoureux parallèle entre la répartition des chromosomes et la distribution des gènes portés par les chromosomes sexuels ;
- compléter sans erreurs la conclusion à la fin de la section du "*Laboratoire3*" ;
- réussir les exercices et les problèmes du "*Laboratoire3*" avec une note supérieure à 45%.

8.3.2. Architecture de la pile et démarche dans le "Laboratoire 3"

Contrairement aux laboratoires 1 et 2, le "*laboratoire3*" n'est composé que d'un seul bloc divisé en trois sections qui sont l'expérimentation, la vérification et la conclusion. Dans ce laboratoire l'étudiant mène des croisements sur la Drosophile. Quant à la progression, elle est identique à celle suivie dans le "*Laboratoire1*" tant au niveau de la phase expérimentale qu'au niveau de la phase vérification. Dans la vérification, c'est l'étudiant qui déplace les gamètes des parents à l'intérieur de l'échiquier de croisement. Cette opération n'est pas longue comme dans le "*Laboratoire2*", où c'est l'ordinateur qui remplit cette tâche.

8.4. "Laboratoire4"

Ce Laboratoire est conçu dans le but d'amener l'étudiant à faire une distinction entre le dihybridisme classique, avec gènes indépendants, traité dans le "*Laboratoire2*" et le dihybridisme avec gènes liés impliquant le phénomène du linkage. En spécifiant les objectifs de ce laboratoire, on peut préciser ce qui est attendu de l'utilisateur.

8.4.1. Objectifs du "Laboratoire4"

- prédire les résultats phénotypiques de la descendance ;
- constater que les résultats obtenus lors du croisement prévu ne s'accordent avec aucun résultat observé dans les laboratoires précédents ;
- songer à une liaison entre les gènes pour expliquer ces résultats inattendus ;
- comprendre que le phénomène du linkage ne se produit que chez les hybrides ;
- lier le phénomène du linkage au brassage intrachromosomique (échange du matériel génétique) qui se produit souvent lors des étapes de la méiose : disjonction des allèles (paternels et maternels) et répartition aléatoire de ces allèles entre les cellules filles ;
- résoudre les exercices et problèmes ayant un lien avec ce laboratoire.

8.4.2. Architecture de la pile et démarche dans le "Laboratoire4"

Le "*Laboratoire4*" comporte deux blocs. Le premier est destiné à étudier le linkage chez la drosophile. Le deuxième bloc sur les végétaux : la forme et la couleur des graines du Maïs.

Les deux exemples proposés sont des cas classiques qu'on trouve fréquemment dans des manuels scolaires. Dans ce laboratoire il n'y a qu'un seul croisement par bloc. Chaque bloc est divisé en deux sections. La première c'est l'expérimentation où l'étudiant choisi le(s) phénotype(s) de la descendance et conduit ses croisements. La deuxième section est le lieu où l'étudiant fait ses interprétations. À partir d'illustrations montrant les phases de la méiose et la répartition des chromosomes à l'intérieur de chaque cellule fille, l'étudiant doit interpréter ce qu'il observe en faisant un lien étroit entre les résultats obtenus et la répartition aléatoire des allèles dans chaque cellule fille.

Cette pile s'achève par une vérification des apprentissages en proposant à l'étudiant des exercices et des problèmes d'application.

8.5. "Laboratoire5"

8.5.1. Architecture de la pile

L'étude de l'hérédité dans l'espèce humaine fait appel aux informations scientifiques fournies par la généalogie. Cette branche de la génétique, se contente d'étudier des cas sans jamais pouvoir expérimenter. Pour respecter cette réalité, nous avons conçu la structure de cette pile de manière à faire réfléchir l'étudiant sur des situations problématiques concrètes. À partir d'énoncés, l'étudiant est invité à prédire le(s) phénotype(s) de la descendance issue d'une union entre couples présentant des aberrations héréditaires et construit le pedigree de cette famille. La (figure 9) illustre un exemple de ces situations.

Le "*Laboratoire5*" est formé de deux blocs. Le premier est centré sur des situations héréditaires humaines portant sur un seul gène situé soit sur des autosomes, comme le gène qui gouverne les groupes sanguins ABO, soit sur des chromosomes sexuels, comme par exemple le daltonisme et l'hypertrichose. Le deuxième bloc, fait réfléchir sur des situations plus complexes mettant en évidence deux gènes à la fois portés par des autosomes, c'est le cas des groupes sanguins ABO et du facteur Rh. L'étudiant complète ce laboratoire par des exercices et problèmes.

Énoncé

Un homme de groupe sanguin (A: Rh⁺) son génotype est I^A I^B Rh⁺ // Rh⁺ épouse une femme dont le groupe sanguin a la même constitution génotypique que le mari. Quelles vont-ête les proportions génotypiques probables des enfants de ce couple ?

11:15:08
00:00:22

Phénotypes de la descendance ?

♂ / ♀									

Proportions phénotypiques

1/6
1/6
1/6
1/6
1/6
1/6
1/6
1/6

Phénotypes de la descendance

A ; Rh ⁺
A ; Rh ⁻
B ; Rh ⁺
B ; Rh ⁻
AB ; Rh ⁺
AB ; Rh ⁻
O ; Rh ⁺
O ; Rh ⁻

Légende pour compléter le pedigree

♂	♀

Concepts

Vérification

STOP Quitter

Menu

Dossier

Consignes & aide

Figure 9: Page-écran illustrant un exemple d'un énoncé lié à l'hérédité humaine dans le "Laboratoire 5"

lxxii

8.5.3. Démarche dans le "Laboratoire5"

Comme dans les laboratoires précédents, l'étudiant dispose d'une aide qui l'informe sur les étapes à suivre pour mener à terme sa démarche. Ces informations sont présentées ici :

- 1 Lisez attentivement les données de l'énoncé. Choisissez une réponse en cliquant sur le bouton "Phénotypes de la descendance?".
- 2 Cliquez sur ✓ pour continuer.
- 3 Observez les résultats du croisement dans l'échiquier, de même que les proportions phénotypiques et génotypiques de la descendance.
- 4 En se basant sur ces résultats et sur les proportions phénotypiques, cliquez sur l'enfant qui ne devrait pas être présent parmi la descendance sur l'arbre généalogique. Si le pedigree ne comporte aucune erreur, cliquez sur le bouton "Aucune erreur....".

Nous avons combiné deux stratégies pour permettre aux étudiants de démystifier les situations héréditaires proposées. Le premier moyen consiste à présenter un cas, sous forme d'énoncé, à partir duquel l'étudiant tente de prévoir le(s) phénotype(s) de la descendance issue du couple dont les génotypes sont connus. C'est le cas, par exemple, des groupes sanguins. Un second moyen consiste à construire l'arbre généalogique "*pedigree*" de cette famille eu égard au caractère étudié. L'étudiant doit construire le pedigree avec les symboles situés à droite de l'écran en les glissant dans les endroits appropriés de l'arbre généalogique.

À la fin, l'étudiant se prononce sur la composition du pedigree en y identifiant parmi les rejetons le(s) enfant(s) qui a (ont) reçu le gène responsable de l'anomalie ou de dire si le pedigree ne comporte aucune erreur. Le pedigree n'apparaît qu'une fois les gamètes sont placés dans l'échiquier de croisement et les résultats s'affichent au tableau.

9. LES AUTRES PILES

9.1. La pile "Exercices & problèmes"

9.1.1. But de la pile

Cette pile a été conçue dans le but de vérifier les connaissances acquises, mais aussi pour renforcer celles-ci. Son niveau d'intervention se situe à la fin de chaque laboratoire. Cet

outil place les étudiants en situation de résolution de problèmes afin de leur permettre de sonder leur savoir quant aux lois de la génétique formelle. Il est important de souligner que les exercices ne sont pas prédéterminés, mais qu'ils sont générés de façon aléatoire, de manière à éviter aux utilisateurs de résoudre les mêmes problèmes. Au total, nous avons rédigé 74 exercices et problèmes répartis comme suit :

- - 29 exercices sur le monohybridisme appartenant à trois séries :
- la première série composée de 15 exercices avec dominance complète, dont les cartes sont identifiés de M1 à M15 ;
- la deuxième série constituée de 10 problèmes avec gène létal. Les cartes de cette série sont appelées ML1 à ML10
- la troisième série formée de 4 exercices sans dominance ou codominance. Nous avons appelé les cartes de cette série MC1 à MC4 (allèles codominants) ;
- lors de la phase de la résolution, l'ordinateur tire au hasard 4 exercices appartenant au monohybridisme : 2 de la première série, 1 de deuxième série et 1 exercice correspondant à la troisième série.

- - 19 exercices sur le dihybridisme avec gènes indépendants répartis aussi en trois séries :
- la première série composée de 12 exercices où il y a dominance complète d'un gène sur l'autre. Les cartes de cette série sont intitulées D1 à D12 ;
- la deuxième série constituée de 4 problèmes avec au moins un gène létal. Les cartes de cette série sont appelées DLt1 à DLt4 ;
- la troisième série formée de 3 exercices sans dominance entre les couples d'allèles (codominance). Les cartes de cette série sont nommées DC1 à DC3 ;
- à la fin du "Laboratoire2", l'ordinateur tire au hasard 4 exercices sur le dihybridisme : 2 de la première série, 1 de la deuxième série et 1 exercice de la troisième série.

- - 8 exercices sur le dihybridisme avec gènes liés (LINKAGE) :
- les cartes qui contiennent ces huit (8) exercices sont identifiées de DGL1 à DGL8 ;
- à la fin de ce laboratoire, l'ordinateur tire au hasard 2 exercices sur le linkage

- - 8 problèmes sur l'hérédité liée au sexe :
- les cartes de cette série sont appelées : S1 à S8. On y trouve quelques cas avec létalité et un cas d'hérédité lié au sexe chez l'homme "Daltonisme", il s'agit de la carte : S8 ;
- au terme de ce laboratoire, l'ordinateur tire 2 exercices au hasard sur l'hérédité liée au sexe

- -10 exercices sur l'hérédité humaine "Pedigree" :
- cette série de cartes s'appelle : P1 à P10 ;
- à la fin de ce laboratoire, l'ordinateur tire au hasard 3 exercices sur l'hérédité humaine.

9.1.2. Structure de la pile

Cette pile est composée de deux (2) parties avec un nombre variable de cartes d'une partie à l'autre.

La première contient trois cartes qui se succèdent. On y trouve d'abord la carte présentant le titre de la pile "*Exercices & problèmes*", au niveau de laquelle l'étudiant doit saisir son code. Le but de cette opération est de vérifier quel laboratoire il a complété et, en même temps, de tirer au hasard les exercices qui lui seront proposés. La deuxième carte est inaccessible, du moins à l'étudiant, elle contient un champ qui renferme des données utiles à exécuter l'opération du tirage au hasard. La troisième carte est un "*modèle*" d'une carte d'exercices. L'étudiant est invité à déplacer le curseur sur la surface de la carte pour s'informer sur le rôle de chacun des objets présents sur la carte et pour connaître la manière de mener sa tâche.

La deuxième partie est constituée de 79 cartes. Ceux sont les cartes des exercices, dont la structure est pratiquement identique d'une carte à l'autre et ressemblant à la (figure 10). Sauf pour les cartes intitulées P1 à P10 qui traitent de l'hérédité humaine, où l'étudiant, en plus de résoudre le problème, est appelé à se prononcer sur la validité du pedigree familial faisant partie de la situation à résoudre.






1 ÉNONCÉ DE L'EXERCICE OU DU PROBLÈME.				
<p>4 mot choisi, prêt à être placé.</p> <p>3</p> <p>Aucune idée</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p> <p>mot à placer</p>	<p>2 SOLUTION INCOMPLÈTE.</p> <p>(espaces à remplir par les mots choisis et prêts à être placés)</p>			
 Concepts	 Correction 6	 Quitter	5  Aide	 Dossier

Figure 10 : Structure d'une page-écran d'un exercice.

9.1.3. Démarche suggérée au niveau de la pile "*Exercices & problèmes*"

La démarche à suivre est expliquée dans la carte de la pile des exercices. Nous précisons, ici, les principales étapes :

- faire une lecture attentive et complète de l'énoncé ;
- lire la solution à compléter, tout en repérant le(s) mot(s) correspondant au(x) vide(s) à remplir ;
- cliquer sur le mot et observer s'il est dans le champ "*mot à placer*" ;
- cliquer dans l'espace vide où le mot sélectionné devrait être inséré. Dans le texte, il apparaîtra en gras ;
- lorsque tous les vides sont remplis, l'étudiant doit cliquer sur le bouton "*correction*". L'ordinateur corrige et à chaque erreur, il soustrait 8/10 de la note totale qui est de 100 points. À la fin de la correction, l'ordinateur verse la note de chaque exercice dans le dossier de l'étudiant ;

9.2. La pile "Données"

9.2.1. But de la pile

Cette pile a pour but de recevoir les données de chaque étudiant et de les emmagasiner. Les informations qu'elle recueille sont stocker dans des champs, on y trouve les champs qui reçoivent :

- l'identification de l'étudiant (Nom, Prénom et Code) ;
- les croisements effectués dans les différentes piles ;
- les prédictions sur la composition phénotypique de la descendance pour chacun des croisements ;
- les génotypes des deux parents ayant conduit à l'apparition des phénotypes observés ;
- le temps consacré à chacune des sections de la pile ;
- la trace dans chaque pile : le nombre de fois visitée et la date de chaque visite ;
- les résultats obtenus dans les conclusions, les exercices et les problèmes.

C'est ici où l'ordinateur vérifie la progression des travaux de l'utilisateur et ses notes dans le but de lui permettre de passer d'une section à l'autre.

9.2.2. Structure de la pile

La pile est constituée de deux cartes qui se distinguent par leur structure et leur rôle. La première appelée "*index*" renferme divers champs disposés selon la (figure 11) de la page suivante contenant des informations diverses telles : nom, prénom, code, etc....C'est au niveau de cette carte que l'ordinateur vérifie les informations dès qu'un étudiant s'identifie au niveau de la pile "*Principale*" .

La deuxième carte est appelée "*Modèle*". C'est elle qui sera dupliquée pour donner d'autres cartes qui lui seront identiques et portant, chacune, le nom de l'utilisateur. Au niveau de la "*Principale*", lorsque l'étudiant choisi soit "*nouvelle séance*" soit "*nouveau dossier*", l'ordinateur vérifie dans la carte "*index*" le nom, le prénom et le code saisis. Si ces informations concordent aux données saisies, l'ordinateur les vérifie une autre fois dans la carte personnelle de l'étudiant pour lui permettre l'accès. Si les informations saisies sont

nouvelles et que l'étudiant a choisi "*nouveau dossier*" dans la pile "*Principale*", dans ce cas la carte modèle se dupliquera et portera le nom du nouveau étudiant. Le nombre de cartes dans cette pile est égal au nombre des utilisateurs plus la carte "*modèle*" et la carte "*index*".

LABORATOIRES Exercices & problèmes												
Prénoms	Noms	Codes	1	2	3	4	5	E1	E2	E3	E4	E5

Figure 11 : La carte "*index*" qui vérifie et compile la trace des étudiants.

9.3. La pile "Dossiers"

9.3.1. But de la pile

La pile "*Dossiers*" recueille les informations concernant les interactions de l'étudiant avec le système. Elle est constituée de fichiers personnels regroupant les mêmes informations que celles qui se trouvent dans la pile "*Données*", mais de façon plus structurée. Dans un contexte scolaire, cette base de données permet à l'enseignant de faire une évaluation des travaux des élèves et de suivre leur progression à travers le logiciel. Dans un contexte d'auto-formation, le dossier permet à l'étudiant de faire un bilan réflexif sur ses apprentissages.

9.3.2. Structure de la pile

La pile "*Dossiers*" est constituée de deux parties. La première fournit des informations générales sur l'ensemble des résultats de tous les étudiants qui ont travaillé sur le logiciel. Cette partie consigne les notes, la fréquence de passage dans un bloc donné du logiciel, le nombre de fois où l'étudiant a fait un croisement donné. Cette partie est conçue de manière à

permettre à l'enseignant une localisation rapide des difficultés de la classe ou de certains élèves et de faire un suivi adéquat. La première partie n'est accessible qu'à l'enseignant. La deuxième partie, dite spécifique, donne des informations détaillées sur les apprentissages d'un étudiant particulier. Cette partie renseigne sur :

- les résultats obtenus tant au niveau des conclusions qu'au niveau des exercices et des problèmes ;
- les croisements réalisés et les réponses formulées pour prédire le(s) phénotype(s) de la descendance issue des croisements effectués ;
- la fréquence d'accès aux divers blocs du didacticiel ;
- la durée totale consacré à chacune des sections du logiciel.

9.3.3. Démarche pour consulter les "dossiers"

Au moment où l'utilisateur demande à consulter son dossier, l'ordinateur lui impose de rentrer son code afin de ne lui accorder l'accès qu'à son dossier personnel et non à ceux de ses pairs. Seul le professeur peut, à l'aide d'un code particulier, se promener d'un dossier à l'autre. Cette pile est construite de manière à permettre au professeur d'en extraire les informations utiles pour pouvoir, notamment, établir des diagnostics concernant les apprentissages et de déterminer la suite à donner aux activités dans chacun des laboratoires. La pile "*Dossiers*" permet d'obtenir des renseignements sur un ou plusieurs apprenants.


9.4. La pile "Concepts"

Cette pile est conçue pour permettre aux étudiants de s'informer sur des concepts inconnus ayant un lien avec la génétique. L'étudiant a accès à cette pile à partir de n'importe quel endroit du logiciel. En cliquant sur le bouton "*Concepts*", l'ordinateur l'amène à la première page-écran qui renferme un lexique de concepts. Lorsque l'étudiant clique sur une notion donnée, il y reçoit une information qui est souvent accompagnée d'illustrations et/ou d'exemples. La (figure 12) présente un exemple de concept. Si l'étudiant veut continuer sa recherche deux possibilités lui sont offertes : soit qu'il clique sur le bouton "*Retour*" pour revenir au lexique et de là refaire le même cheminement qu'avant, soit qu'il clique sur l'étoile (*) se trouvant sur un autre concept. Une fois la consultation est terminée, l'étudiant active le bouton "*Retour*" présent sur la carte lexique, de là il est ramené à son point de départ initial dans lequel il se trouvait avant d'aller à la pile "*Concepts*".

Phénotype


Phénotype: n.m. (du grec phainein, paraître et tupos qui veut dire empreinte ou marque).
Ensemble des caractères visibles d'un individu.
Le phénotype est l'expression, au niveau du corps, du message porté par les gènes *.

Ne pas confondre entre phénotype et génotype *.



souris grise souris blanche

Le phénotype des souris c'est:
la couleur du pelage.


Retour

Cliquez sur l'étoile (*) pour connaître la signification des autres mots.

Figure 12 : Exemple d'une page-écran de la pile "CONCEPTS".

10. Les modifications possibles au simulateur

Les seules modifications permises à l'enseignant sont mineures et portent sur le contenu pédagogique, le contenu des messages interactifs et les critères de réussite des évaluations.

10.1. Contenu pédagogique modifiable

L'endroit le plus simple où l'enseignant peut intervenir pour changer le contenu c'est au niveau de la pile des "Concepts". Il peut soit ajouter de nouvelles notions ou en soustraire d'autres. La démarche à suivre est la suivante

Lancez la pile "concepts" en cliquant deux fois de suite dessus ; appuyez simultanément sur les touches "Pomme" et "M" et tapez dans la boîte de message "Set the userLevel to 5", ensuite tapez dans cette boîte "Show menuBar". La barre des menus s'affiche, et dans le menu "Outils" sélectionnez l'outil champ. Si vous savez utiliser la palette des outils, procédez aux modifications en libérant le texte champ, si non consulter un livre d'HyperCard sur la manière d'ouvrir les zones de dialogues des champs, des boutons, des cartes, etc.

Ajoutez le titre du concept que vous désirez intégrer dans le champ "index" ; verrouiller le texte du champ et cliquez sur le concept situé juste au dessus du titre que vous

venez d'ajouter. Dans la page-écran nouvelle, choisissez dans le menu ÉDITION "*copier la carte*". Et dans le même menu, choisissez "*coller la carte*". Il vous semblera que rien ne s'est produit. Détrompez-vous, il y a maintenant dans cette pile deux cartes identiques qui se succèdent et qui ont le même nom. Dans le menu "OBJETS", choisissez "*Informations sur la carte*". Une zone de dialogue apparaît, changez le nom de la carte en tapant le titre du concept que vous avez ajouté dans le champ lexique. Il faut que ce nom soit exactement identique au titre que vous avez ajouté dans le lexique, si non l'ordinateur ne pourra pas repérer cette carte. Fermez la zone de dialogue et saisissez le texte correspondant au concept dans le grand champ, ensuite écrivez le titre dans le petit champ. Retournez à la 1ère carte, en cliquant sur le bouton "*retour*". Vérifiez si votre opération a réussi en cliquant sur le nouveau concept. À la fin, choisissez dans le menu FICHIER "*quitter HyperCard*".

10.2. Contenu des messages

Très souvent les utilisateurs se plaignent de ne pas comprendre ce qu'on exige d'eux. Les messages apparaissent ambigus, pas assez explicites. Seuls les professeurs peuvent mieux connaître le niveau de compréhension de leurs étudiants. La démarche pour apporter des modifications aux messages et aux consignes se résume ainsi :

lorsque vous repérez un message qui vous ne plaît pas, stoppez l'exécution du programme en appuyant sur "Pomme" et "." (point) simultanément jusqu'à l'arrêt du programme. Faites apparaître la boîte de messages à l'aide des touches "Pomme" et "M" et écrivez "*Set the userLevel to 5*". Ouvrez les scripts de la pile et cherchez les lignes commençant par "*Answer*". Ce sont ces lignes qui contiennent le message. Changez-le à votre convenance. Les messages se trouvent non seulement dans le script des piles, mais aussi dans celui des fonds, des cartes, des champs et des boutons. La première chose à faire c'est, d'abord, de localiser la provenance du message à modifier, ensuite, de suivre les étapes précédentes.

10.3. Modification des notes et des critères de réussite

Les notes attribuées aux étudiants sont situées au niveau des conclusions de chaque laboratoire ainsi qu'au niveau de la pile des exercices et problèmes.

10.2.1. Au niveau des conclusions

Nous donnons ici un exemple pour illustrer la façon de procéder pour opérer les modifications souhaitées. Ces critères sont gérés par deux procédures.

La première se trouve dans le script "*On mouseUp*" du bouton "*correction*". Elle soustrait 10 points à chaque erreur. On peut modifier ce critère au niveau de la ligne suivante: `subtract 10 from cd fld "point1"`

La deuxième se trouve dans la procédure "*On choixÉlève*" située dans le script de la carte. Elle accorde 100 points à la réponse juste et 0 pour une réponse erronée. L'enseignant peut modifier cette note au niveau de la ligne suivante : `put "?"&return&"100" into cd fld "point2"`.

10.2.2. Au niveau des exercices et problèmes

La procédure qui gère les critères de réussite et d'attribution des notes aux exercices et aux problèmes est située dans le script de la pile "*Exercices & problèmes*", elle s'intitule "*On boutonCorrection*". Les modifications peuvent se faire au niveau de la ligne suivante : `subtract round (0.8 * (100 div the number of lines of cd fld "ref")) from noteCourante.`

En modifiant le rapport 8/10 (0.8), on change les critères de réussites.

11. LIMITES DU LOGICIEL "GÉNÉTIQUE"

"*Génétique*" présente deux types de limites : pédagogiques et techniques.

11.1. Limites d'ordre pédagogiques

Nous n'avons pas tenu compte des phénomènes liés à la pénétrance et l'expressivité des gènes. Dans le polyhybridisme, nous nous sommes limité à deux gènes seulement : le dihybridisme. Nous avons évité, pour des raisons de complexité, d'évoquer l'interaction entre les gènes (interaction épistasique ; interaction non épistasique ; pléiotropie : expressions phénotypiques multiples d'un seul gène).

11.2. Limites d'ordre techniques

a) La version HyperCard 2.0 fut utilisée pour programmer le logiciel présente des limites quant à l'affichage de la couleur. Pour intégrer des films "movie" en couleur dans le but d'illustrer les caractères héréditaires étudiés, nous avons dû faire appel à des commandes externes (XCMDs) et des fonctions externes (XFCNs). Cette façon règle le problème des illustrations, mais ralentit considérablement l'exécution de certaines procédures du programme. Donc, il n'est pas étonnant de constater qu'à certains moments le programme ralentit sa cadence, surtout lorsqu'il affiche les images en couleur et pendant la correction des exercices.

b) Lors de la mise à l'essai nous avons constaté quelques difficultés liées au fonctionnement du logiciel, lorsque celui-ci est installé sur un équipement pas assez performant, comme les LCII. Nous suggérons dans ce cas :

Proposition 1 : Pour tirer pleinement profit des capacités graphiques et des illustrations en couleur présentées par le simulateur "Génétiq ue", il serait souhaitable d'installer celui-ci sur des ordinateurs performants, comme le LCIII et au dessus. Une telle mesure éviterait des pertes de temps et des complications d'ordre fonctionnel, comme ce fut le cas lors de la mise à l'essai empirique.

Même si la plupart des activités ont été conçues pour ne pas excéder plus de soixante (60) minutes, nos observations ont révélé que certains étudiants avaient des difficultés à compléter les activités proposées dans ce laps de temps. Certaines activités exigeaient parfois plus de temps et laissaient peu de place pour aborder l'ensemble des questions suggérées. Ce qui nous a amené à formuler une seconde proposition.

Proposition 2 : Pour pouvoir donner accès à des apprentissages utiles et constructifs, il importe de mettre à la disposition des utilisateurs des conditions appropriées et une période de temps plus étendue (de 60 à 80 minutes).

12. Fiche signalétique du simulateur "Génétique"

La fiche identifie les caractéristiques générales et techniques du logiciel. Elle indique les coordonnées du concepteur pour que les acquiseurs puissent trouver des solutions aux problèmes de fonctionnalité.

12.1. Caractéristiques générales

Nom du didacticiel : GÉNÉTIQUE. Type : Simulateur/exerciseur

Nom du concepteur : Abdel-Halim LASRI

Lieu de conception : Laboratoire de robotique pédagogique de l'université de Montréal

Date de conception : septembre 1996

Public cible : Étudiants des niveaux secondaire, collégial et universitaire

Discipline et sujet : Biologie, génétique mendélienne, statistique et probabilité

Durée maximale d'utilisation de l'ensemble du didacticiel : 6 heures 30

Mode d'utilisation : avec ou sans surveillance. Un (1) étudiant par poste de travail, au maximum deux (2) par équipe

12.2. Caractéristiques techniques

Environnement : Macintosh (LCIII, LC 575, Centris, Mac II, PowerPC)

Système d'exploitation : Système 7.0 ou plus

Support : disque dur de 20 Meg et au moins 6 Méga-octets de mémoire vive

Périphérique d'entrée : uniquement la souris

Périphérique de sortie : Écran 14" couleur et une imprimante (celle-ci est facultative)

Langage de programmation : HyperTalk (HyperCard)

Annexe 6

Résultats obtenus par les participants dans les différents "laboratoires"

codes	Identification des étudiants (N= 11)	Note et temps dans les deux blocs du laboratoire I				Note et temps dans les conclusions				Note et durée aux exercices		Note totale et temps dans le module	
		Nb1	Tb1	Nb2	Tb2	Nc1	Tc1	Nc2	Tc2	Np	Tp	Nt	Tt
434	E1	12	14	08	14	10	05	08	06	34	20	72	59
026	E2	11	15	10	13	12	06	10	05	36	19	79	58
657	E3	10	16	08	14	09	07	11	06	41	20	79	63
320	E4	10	14	12	13	10	06	09	05	36	21	77	59
345	E5	12	14	10	15	11	06	10	06	35	22	78	63
033	E6	10	13	12	14	10	06	12	06	40	19	84	58
990	E7	09	12	12	16	09	08	11	07	30	20	71	63
055	E8	13	15	10	14	08	06	10	06	40	23	81	64
004	E9	12	12	08	15	11	05	08	06	40	24	79	62
502	E10	11	16	11	14	10	07	10	05	38	20	80	62
027	E11	11	13	13	13	08	06	11	08	32	28	75	68

X = 77 ; 62

Légende :

Nb1 : note obtenue dans le bloc1 (chez les animaux) ; Nb2 : note obtenue dans le bloc2 (chez les végétaux) ;
Np : note obtenue dans les problèmes ;
Nc1 : note otendue dans la conclusion du bloc1 ;
Nc2 : note otendue dans la conclusion du bloc2 ;
Tb1 : Temps (mn) consacré au bloc1 ; Tb2 : Temps (mn) consacré au bloc2 ;
Tc1 : Temps consacré à la conclusion du bloc1 ; Tc2 : Temps consacré à la conclusion du bloc2 ;
Tp : Temps (mn) alloué à la résolution de problèmes ;
Tt : Temps (mn) consacré à tout le module ; Nt : note totale dans le module.

Tableau 1 : Résultats obtenus par les étudiants dans le laboratoire 1 "Monohybridisme"

codes	Identification des étudiants (N= 11)	Note et temps dans les deux blocs du laboratoire2				Note et temps dans les conclusions				Note et durée dans les exercices		Note totale et temps dans le module	
		Nb1	Tb1	Nb2	Tb2	Nc1	Tc1	Nc2	Tc2	Np	Tp	Nt	Tt
434	E1	06	22	07	21	12	07	12	07	32	25	68	84
026	E2	08	18	08	20	10	06	10	05	30	22	66	71
657	E3	06	24	07	21	11	06	11	06	40	22	75	81
320	E4	10	19	09	20	12	05	12	05	38	23	81	72
345	E5	09	20	10	19	11	06	10	06	39	22	78	73
033	E6	07	20	08	23	12	07	11	06	40	30	78	86
990	E7	08	19	09	18	12	06	11	05	39	22	79	70
065	E8	11	20	07	19	11	07	12	06	35	22	76	74
004	E9	10	18	10	17	10	06	11	07	40	24	81	71
502	E10	08	21	11	20	09	07	10	06	41	28	79	82
027	E11	10	19	10	21	12	06	12	07	38	27	82	80

X = 76 ; 76

Légende :

Nb1 : note obtenue dans le bloc1 (chez les animaux) ; Nb2 : note du bloc2 (chez les végétaux) ;
Np : note obtenue dans les problèmes ;
Nc1 : note obtenue dans la conclusion du bloc1 ;
Nc2 : note obtenue dans la conclusion du bloc2 ;
Tb1 : Temps (mn) consacré au bloc1 ; Tb2 : Temps (mn) consacré au bloc2 ;
Tc1 : Temps consacré à la conclusion du bloc1 ; Tc2 : Temps consacré à la conclusion du bloc2 ;
Tp : Temps (mn) alloué à la résolution de problèmes ;
Tt : Temps (mn) consacré à tout le module ; Nt : Note totale dans le module.

Tableau 2 : Résultats obtenus par les étudiants dans le laboratoire 2 "Dihybridisme"

codes	Identification des étudiants (N= 11)	Note et temps dans les expériences du laboratoire 3 40/100		Note et temps dans conclusion 15/100		Note et durée des exercices 45/100		Note totale et temps dans le module 100/100	
		Nexp3	Texp3	Nc3	Tc3	Np3	Tp3	Nt3	Tt3
434	E1	30	35	12	12	22	36	64	83
026	E2	33	28	15	10	34	29	82	67
657	E3	26	29	14	09	40	28	68	66
320	E4	34	34	14	11	28	35	76	80
345	E5	32	34	13	07	33	30	78	71
033	E6	28	28	15	09	27	34	70	71
990	E7	34	30	13	10	38	28	85	68
055	E8	30	33	12	12	27	33	69	78
004	E9	27	29	13	08	34	29	74	66
502	E10	28	30	15	09	36	27	79	66
027	E11	34	34	14	11	29	35	77	80

X = 75 ; 72

Légende :

Nexp3 : note attribuée aux expériences du laboratoire3 ;
Np3 : note obtenue dans les problèmes du laboratoire3 ;
Nc3 : note otenu dans la conclusion du laboratoire3 ;
Texp3 : Temps consacré aux expériences dans le laboratoire3 ;
Tc3 : Temps consacré à la conclusion du laboratoire3 ;
Tp3 : Temps (mn) alloué à la résolution de problèmes dans le laboratoire3 ;
Tt3 : Temps (mn) consacré à tout le module ; Nt3 : note totale dans le laboratoire3.

Tableau 3 : Résultats obtenus par les étudiants dans le laboratoire 3 "Hérédité liée au sexe"

codes	Identification des étudiants (N= 11)	Note et temps dans les deux blocs du laboratoire4				Note et temps dans les conclusions du laboratoire4				Note et durée dans les exercices		Note totale et temps au Laboratoire4	
		Nb1	Tb1	Nb2	Tb2	Nc1	Tc1	Nc2	Tc2	Np	Tp	Nt	Tt
434	E1	10	17	11	15	09	05	08	07	31	30	69	74
026	E2	11	17	12	16	10	06	10	06	35	28	78	72
657	E3	12	23	09	20	11	07	11	08	33	20	76	85
320	E4	09	22	10	20	09	08	12	09	42	28	82	87
345	E5	12	18	13	17	11	06	12	06	39	22	87	69
083	E6	10	19	15	18	12	08	12	07	35	24	84	76
990	E7	09	21	10	20	10	09	11	08	39	25	79	83
055	E8	12	17	14	15	11	07	12	06	39	23	88	68
004	E9	10	16	10	17	10	05	12	07	40	22	82	67
502	E10	07	20	09	21	12	08	10	10	34	26	72	85
027	E11	11	24	11	20	10	09	12	09	41	24	85	86

X = 80 ; 77

Légende :

Nb1 : note obtenue dans le bloc1 (chez les animaux) ; Nb2 : note obtenue dans le bloc2 (chez les végétaux) ;
Np : note obtenue dans les problèmes du laboratoire4 ;
Nc1 : note obtenue dans la conclusion du bloc1 du laboratoire4 ;
Nc2 : note obtenue dans la conclusion du bloc2 du laboratoire4 ;
Tb1 : Temps consacré au bloc1 du laboratoire4 ; Tb2 : Temps consacré au bloc2 du laboratoire4 ;
Tc1 : Temps consacré à la conclusion du bloc1 ; Tc2 : Temps consacré à la conclusion du bloc2 ;
Tp : Temps (mn) alloué à la résolution de problèmes ;
Tt : Temps total (mn) consacré au laboratoire4 ; Nt : Note totale dans le laboratoire4.

Tableau 4 : Résultats obtenus par les étudiants dans le laboratoire 4 "Le linkage"

codes	Identification des étudiants (N= 11)	Note et temps dans le laboratoire5 "Hérédité humaine"				Note et temps dans les conclusions				Note et durée dans les exercices		Note totale et temps dans Labortoire5	
		Nb1	Tb1	Nb2	Tb2	Nc1	Tc1	Nc2	Tc2	Np	Tp	Nt	Tt
434	E1	12	14	13	13	12	05	08	05	38	21	83	58
026	E2	11	13	12	12	12	05	10	05	40	20	85	55
657	E3	13	18	10	15	09	09	11	09	41	22	84	75
320	E4	10	20	13	17	10	08	12	10	36	23	81	78
345	E5	12	14	14	13	11	06	10	06	35	22	82	61
033	E6	10	13	15	14	12	05	12	06	32	20	81	58
990	E7	09	22	15	18	09	08	11	07	36	24	80	79
055	E8	11	12	10	14	11	07	12	06	45	23	89	62
004	E9	08	12	14	12	11	05	08	06	40	22	73	57
502	E10	13	19	13	18	10	10	10	09	38	25	84	81
027	E11	10	19	13	16	08	11	11	08	32	26	74	80

X = 81 ; 67

Légende :
 Nb1 : note du bloc1 (gènes situés sur les autosomes); Nb2: note du bloc2 (gènes situés sur les chromosomes sexuels);
 Np : note obtenues dans les problèmes ;
 Nc1 : note otendue dans la conclusion du bloc1 du laboratoire5 ;
 Nc2 : note otendue dans la conclusion du bloc2 du laboratoire5 ;
 Tb1 : Temps consacré au bloc1 du laboratoire5 ; Tb2 : Temps consacré au bloc2 du laboratoire5 ;
 Tc1 : Temps consacré à la conclusion du bloc1 ; Tc2 : Temps consacré à la conclusion du bloc2 ;
 Tp : Temps (mn) alloué à la résolution de problèmes ;
 Tt : Temps (mn) consacré au laboratoire5 ; Nt : note totale dans le laboratoire5.

Tableau 5 : Résultats obtenus par les étudiants dans le laboratoire 5 "Hérédité humaine"



Annexe 7

Questionnaire soumis aux étudiants à la fin de la mise à l'essai empirique

Ce questionnaire vise à recueillir vos opinions sur l'ensemble du matériel utilisé (logiciel et la documentation). Nous vous demandons de l'évaluer avec sérieux et rigueur car vos appréciations nous seront d'une grande utilité pour réaliser les réajustements nécessaires. L'évaluation porte sur cinq (5) sections qui sont: l'interaction ; le fonctionnement du logiciel, la documentation, les apprentissages et la démarche proposée.

Consignes: encerclez le chiffre qui décrit le mieux votre opinion et formuler vos commentaires.

Section A : Interaction

A1 Comment qualifieriez-vous la saisie des données dans le logiciel ?

1: Très difficile 2: Difficile 3: Facile 4: Très facile 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A2 Les messages affichés à l'écran sont-ils appropriés ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A3 Comment qualifieriez-vous l'interaction avec le logiciel ?

1: Très difficile 2: Difficile 3: Facile 4: Très facile 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A4 L'interaction avec le logiciel est-elle appropriée à la stratégie pédagogique utilisée ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A 5 Les symboles, les illustrations et les icônes ont-elles une signification pour vous ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A 6 Le graphisme respecte-t-il les conventions d'orientation et de perspective ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A 7 Les exemples et les analogies utilisés sont-ils adaptés à la réalité ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A 8 La lisibilité du texte à l'écran tient-elle compte de votre niveau de compréhension ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A 9 Les renforcements encouragent-ils à faire d'autres apprentissages ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A 10 Avez-vous accès facilement à l'aide fournie par le logiciel ?

1: Très difficile 2: Difficile 3: Facile 4: Très facile 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

A11 L'information donnée par l'aide permet-elle de vous faire sortir des impasses ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

Section B : Le fonctionnement du logiciel

B1 Comment jugez-vous l'utilisation des menus et les icônes de navigation ?

1: Très difficile 2: Difficile 3: Facile 4: Très facile 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

B2 Le logiciel exploite-t-il les capacités graphiques de l'appareil ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

B3 Est-il toujours facile de savoir où l'on se trouve dans le logiciel (page, section, etc.) ?

1: Très difficile 2: Difficile 3: Facile 4: Très facile 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

B4 La couleur utilisée par le didacticiel favorise-t-elle la compréhension ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

B 5 Comment jugez-vous la maîtrise de l'utilisation du logiciel ?

1: Excellente 2: Bonne 3: Passable 4: Excellente 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

B 6 Comment qualifiez-vous la protection des données contre les fausses manoeuvres ?

1: Excellente 2: Bonne 3: Passable 4: Excellente 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

B 7 Le logiciel propose-t-il l'accès à des outils complémentaires (dictionnaire, lexique..) ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

Section C : Les documents d'accompagnement.

C 1 La documentation explique-t-elle clairement le fonctionnement du logiciel ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

C 2 La documentation précise-t-elle les notions préalables ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

C3 La documentation informe-t-elle sur l'assistance disponible dans le logiciel ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

C4 La documentation propose-t-elle des activités de réinvestissement ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

C5 La documentation informe sur le nombre d'activités à faire à la fin de chaque module ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

C6 Comment qualifierez-vous l'organisation de l'information dans la documentation ?

1: Mauvaise 2: Passable 3: Bonne 4: Excellente 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

C7 La documentation est-elle de bonne qualité, bien imprimée et facile à manier ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

Section D : Les apprentissages

D1 Le didacticiel "Génétique" favorise-t-il l'apprentissage des lois sur l'hérédité ?

1: Très difficile 2: Difficile 3: Facile 4: Très facile 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

D2 Les laboratoires aident à différencier entre les différentes lois de Mendel ?

1: Très difficile 2: Difficile 3: Facile 4: Très facile 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

D3 Le lexique permet-il de comprendre la signification des nouvelles notions ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

D4 Les conclusions favorisent-elles la synthèse des découvertes réalisées ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

D5 La résolution de problèmes favorise-t-elle la consolidation des connaissances ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

Section E : Les habilités développées

E1 Le didacticiel permet-il d'identifier les variables nécessaires pour mener les expériences?

1: Très difficile 2: Difficile 3: Facile 4: Très facile 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

E2 Le didacticiel permet-il de faire des prédictions sur les résultats attendus ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

E3 Les résultats engendrés par les expériences permettent-ils de faire des liens entre les phénotypes de la descendance et les génotypes des parents croisés ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

E4 Les résultats des expériences favorisent-ils la l'émission d'autres hypothèses ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

E5 Les expériences favorisent-elles l'élaboration de conclusions ?

1: Pas du tout 2: peu 3: Beaucoup 4: totalement 5: Ne sait pas

justifier votre réponse : _____

Nous vous remercions grandement de votre collaboration.



Annexe 8

Guide d'utilisation de l'étudiant



1. BUT DU LOGICIEL

Le but de ce didacticiel est de vous permettre :

- de manipuler dans un cadre dynamique et interactif des caractères héréditaires ; choisir les parents à croiser ; prédire le(s) facteur(s) phénotypique(s) et génotypique(s) de la descendance ; analyser les résultats statistiques des croisements et de les interpréter ;
- d'intégrer et consolider les concepts liés à la génétique formelle en réinvestissant les connaissances acquises, lors des étapes précédentes, dans une démarche de résolution de problèmes en génétique.

2. PRÉALABLES

Pour tirer profit du didacticiel "GÉNÉTIQUE", vous devez connaître les notions suivantes: l'espèce ; hybridation ; variation ; Chromosomes ; fécondation ; zygote ; haploïde ; diploïde ; gamètes ; mitose ; méiose ; reproduction sexuée et asexuée ; rencontre des gamètes chez les végétaux et chez les animaux.

3. LANCEMENT DU LOGICIEL "GÉNÉTIQUE"

Cliquez deux (2) fois de suite sur la "*Principale*". Après un certain moment, vous verrez apparaître à l'écran la (figure 1) de la page suivante :

- en cliquant sur "*Mode d'utilisation*", l'ordinateur vous présentera les différentes icônes de navigation et d'action du logiciel;
- si vous cliquez sur "*Objectifs*", vous pouvez lire les objectifs à atteindre ;
- en cliquant sur "*Démarche*", l'ordinateur affiche des étapes précisant la démarche pédagogique suggérée par le système.

Pour avoir accès aux reste du système, deux possibilités sont offertes :

CLIQUER SUR L'ICONE DE VOTRE CHOIX

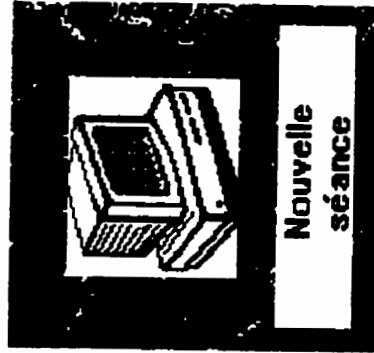
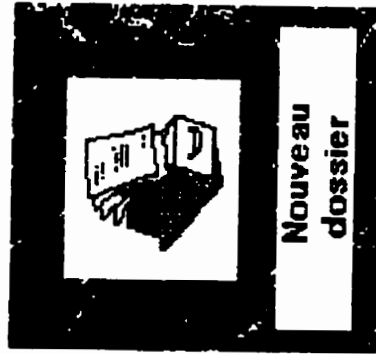
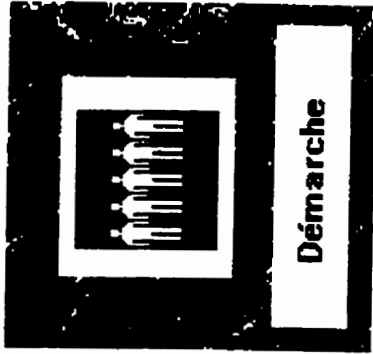
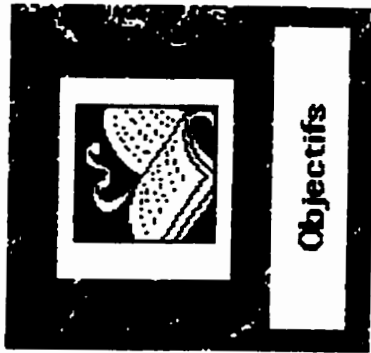


Figure 1 : Choix des icônes

Si c'est la première fois que vous utilisez le logiciel, cliquez sur "*Nouveau dossier*". Et, à l'aide du clavier, tapez votre nom de famille et votre prénom. L'ordinateur créera un dossier personnel en votre nom dans la pile et vous accordera un code d'accès composé de 3 chiffres.

Il est impossible de pénétrer dans le système sans ce code. Il est donc important de le mémoriser pour pouvoir utiliser le logiciel une autre fois.

Si vous possédez déjà un code, cliquez sur "*Nouvelle séance*". L'ordinateur vous demandera de saisir votre code. Si ce code n'est pas bon, l'accès vous sera refusé.

Une fois l'accès est permis, l'ordinateur vous fournira des informations sur le concepteur et du lieu où le simulateur a été développé. En cliquant sur "continuer", vous arriverez à une page ressemblant à la (figure 2). En cliquant sur "*MENU*", vous verrez le menu principal qui gère l'orientation dans les différentes sections du logiciel.

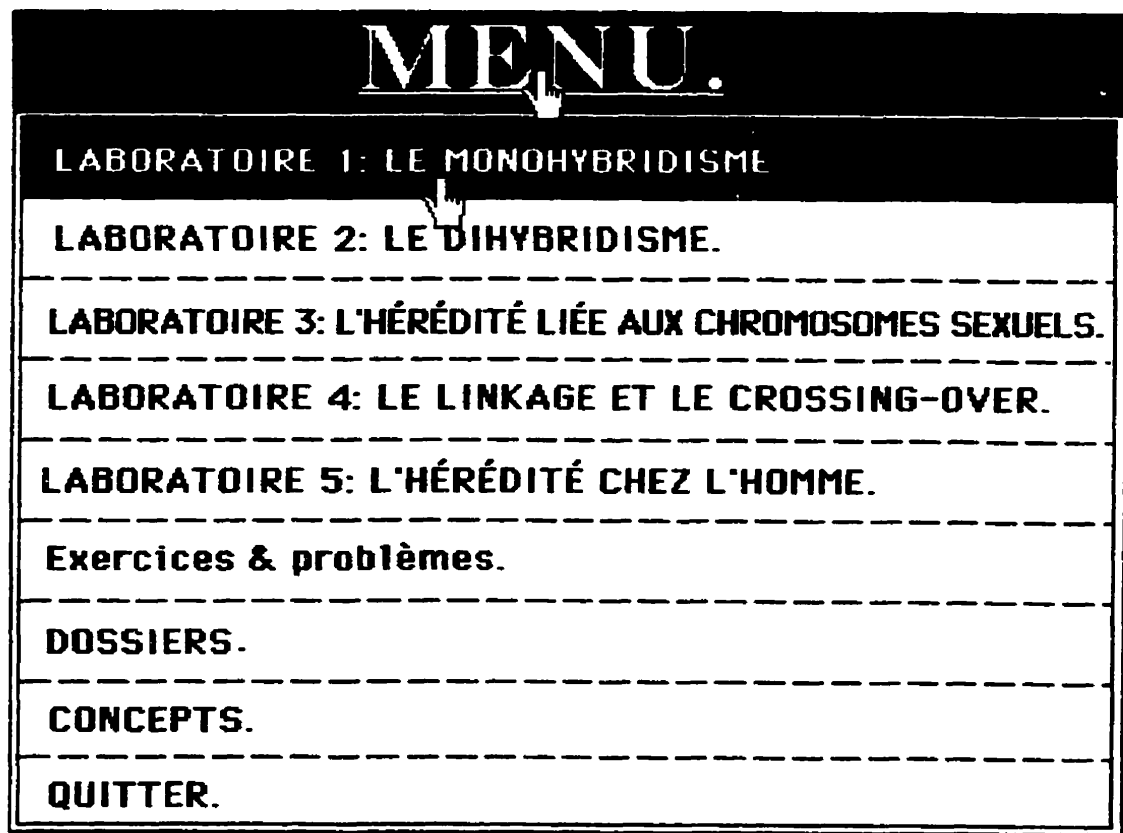


figure 2 : MENU principal qui permet de vous orienter dans les différentes parties du logiciel.

Nous vous proposons de commencer par le "Laboratoire 1", suivi du "Laboratoire 2" et ainsi de suite. À chaque nouvelle séance, le système vérifie dans votre dossier votre progression. Si votre dossier ne vous permet pas de travailler dans une partie sélectionnée l'ordinateur vous le fera savoir.

4. LES "LABORATOIRES"

Chaque laboratoire débute par son titre. Après présentation du titre, sélectionnez l'un des deux blocs qui forment le laboratoire : le premier bloc conduit à des expériences sur des animaux le deuxième sur des végétaux. Ceci vous permet de connaître le(s) caractère(s) héréditaire(s) sur lesquels vous allez travailler :

- couleur du pelage chez la souris ;
- couleur des fleurs chez la belle-de-nuit ;
- couleur du corps et la forme des ailes chez la Drosophile ;
- couleur et forme des graines chez le Pois ;
- couleur et forme des graines chez le Maïs ;
- le daltonisme et la transmission des groupes sanguins chez l'être humain ; etc.

4.1. "LABORATOIRE 1"

La structure du Laboratoire1, comme celle du laboratoire2 et du laboratoire4, est composée de deux (2) grands blocs. Le premier propose des croisements sur des animaux et le second sur des végétaux. Chaque bloc est divisé en trois sections :

- la première section, intitulée expérimentation, permet de réaliser des croisements sur des parents, de prédire le(s) phénotype(s) de leur descendance, d'observer les résultats expérimentaux générés par chacun des croisements choisis ;
- la seconde section, appelée vérification, permet de faire un lien entre les résultats phénotypiques obtenus et les génotypes des parents croisés ;
- la troisième section intitulée conclusion, vous conduit à élaborer une synthèse à partir de vos observations et de vos expériences.

La démarche pédagogique proposée est identique dans les deux blocs des trois piles. Il est nécessaire de faire un certain nombre croisements afin d'obtenir des résultats significatifs. Le nombre des croisements varie d'un laboratoire à l'autre ; mais il est égale dans les deux blocs du même laboratoire. Nous avons limité ce nombre de croisements à ceux que nous avons considéré comme étant significatifs et pouvant vous conduire à des conclusions constructives. Ces croisements sont au nombre de :

- cinq (5) dans chacun des deux blocs du "*Laboratoire 1*" : monohybridisme ;
- quatre (4) dans chacun des deux blocs du "*Laboratoire 2*" : dihybridisme avec gènes indépendants ;
- quatre (4) dans le "*Laboratoire 3*" : hérédité liée au sexe ;
- un (1) dans le "*Laboratoire 4*" : dihybridisme avec gènes lié "*Le linkage*".

Le "*Laboratoire 5*" centré sur l'hérédité humaine est entièrement différent des autres laboratoires. Il ne comporte pas de croisements mais fait appel à la reconstitution d'arbres généalogiques "pedigree" à partir de situations et de faits connus chez l'être humain.

Pour compléter un bloc, respectez l'ordre d'exécution des instructions dans les trois phases qui se succèdent : l'expérimentation, la vérification et la conclusion. Pour prendre connaissance de ces instructions, cliquez sur le bouton "*Consignes & aide*" en bas de la page-écran expérimentation illustrée par la (figure 3) de la page suivante.

Couleur du ♂ 2

Couleur de la ♀ 3

Phénotypes de la descendance ? 4



Gris hybride



Grise hybride



15:30:00
00:12:32

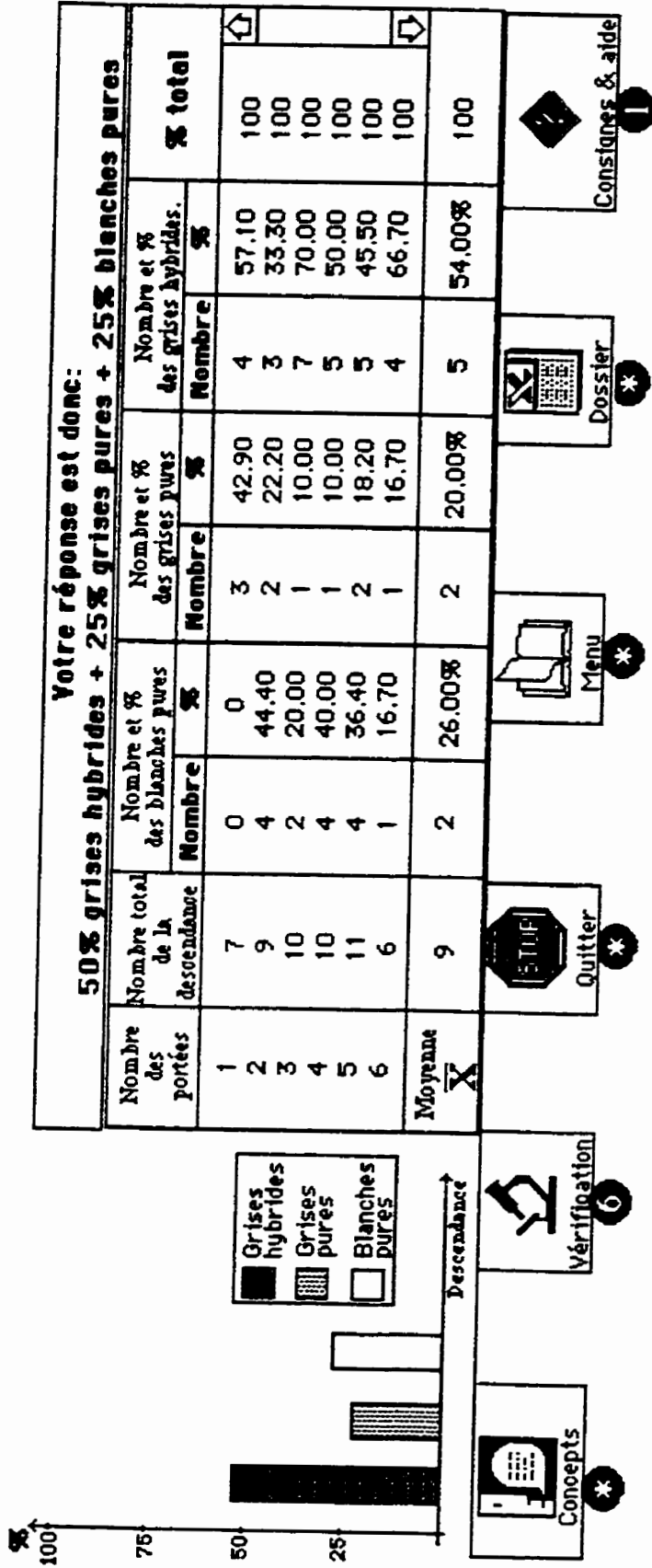


Figure 3: Page-écran de la phase expérimentation

4.1.1. Démarche au niveau de la phase expérimentation

Dans la phase expérimentation vous devez accomplir deux séries d'instructions : La première série de directives est spécifiée dans le cadre suivant.

- ① - Choisissez les caractères des parents en cliquant sur "**Couleur du ♂**" et sur "**Couleur de la ♀**". Vous pouvez commencer par l'un ou l'autre.
- ② - Formuler votre hypothèse à partir de "**Phénotypes de la descendance ?**".
- ③ - Pour exécuter vos choix, fermez cette fenêtre en cliquant n'importe où sur l'écran ou sur "**Consignes & aide**".

Pour observer la descendance et les résultats générés par le croisement, exécutez cette seconde série de directives :

- ① - Cliquez sur le symbole **X** situé entre les parents pour faire apparaître la génération issue du croisement.
- ② - Répétez l'opération ① au moins six (6) fois pour obtenir des résultats significatifs. L'ordinateur peut accomplir cette tâche à votre place.
- ③ - Pour vérifier votre hypothèse, cliquez sur "**Vérification**" symbolisée par le microscope.
- ④ - Pour fermer cette fenêtre ou relire ces consignes, cliquez sur "**Consignes & aide**".

Au terme de la 6^{ème} portée, vous pouvez soit augmenter le nombre des portées en répétant la première consigne, soit passer à la vérification.

4.1.2. Démarche au niveau de la phase vérification

En cliquant sur "**Vérification**", l'ordinateur verse les choix effectués lors de la phase précédente dans votre dossier et inscrit le dernier croisement dans le champ "croisements réalisés". Ensuite, il vous conduit dans une nouvelle page-écran subdivisée en deux parties. La (figure 4) de la page suivante montre la structure de la phase vérification. Une partie supérieure résume les données de la phase précédente et une partie inférieure que vous devez exploiter pour faire la vérification.

Résumé des données du croisement précédent.

Votre hypothèse:

Vous avez répondu que la génération sera composée de 50% grises hybrides + 25% grises pures + 25% de blanches pures.

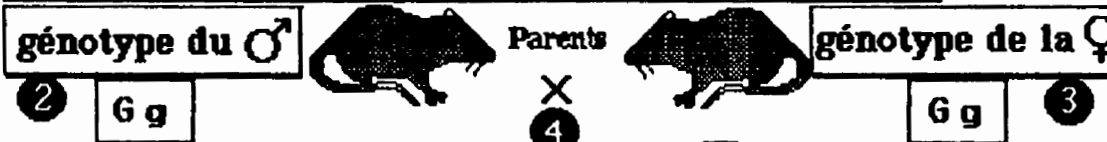
Nombre et % de la génération précédente.

01:25:05

00:05:05

	Nombre	%
blanches pures	2	26 %
grises pures	2	20 %
grises hybrides	5	54 %
Total:	9	100%

Interprétation génotypique du croisement précédent.



gamètes des parents avant la méiose.



gamètes des parents après la méiose.

gènes portés par les gamètes du ♂

5

	♂	G	g
♀	G	G G	g G
g	G g	g g	

gènes portés par les gamètes de la ♀

6

Proportions des différents génotypes:	
Gris pur	1/4
Gris hybride	2/4
Blanc pur	1/4

} 2 souris grises
} 2 souris blanches

X 7
Autres croisements

 *
Dossier

1 
Consignes & aide

Figure 4: page-écran de la phase vérification

Dans la phase vérification, vous devez exécuter une autre série de consignes qui sont :

- ① - La partie supérieure résume les données du croisement précédent.
- ② - La partie inférieure vous permet de faire un lien entre les données phénotypiques de la descendance et les génotypes des parents.
 - a - Cliquez sur "Génotype du ♂" et "Génotype de la ♀" pour choisir les génotypes des deux parents.
 - b - Cliquez sur X situé entre les deux parents pour faire apparaître les gamètes.
 - c - Placez convenablement ces gamètes à l'intérieur de l'échiquier de croisement et, à la fin, observez la composition statistique de la génération.
- ③ - Pour fermer cette fenêtre ou relire ces consignes, cliquez sur "Consignes & aide"

Ici, vous devez trouver le lien entre les phénotypes de la descendance et les génotypes portés par les gamètes des parents. À la fin de la vérification, comparez et analysez vos prédictions par rapport aux résultats expérimentaux obtenus. Pour réaliser d'autres croisements cliquez sur le bouton "Autres croisements". À ce même instant les choix effectués et les résultats obtenus dans cette partie seront versés dans votre dossier.

Les phases expérimentation et vérification offrent d'autres options utiles. La (figure 5) illustre les boutons que vous pouvez activer, à n'importe quel moment.

Boutons qui commandent des actions dans une même pile.



Boutons qui permettent des déplacements d'une pile à l'autre



Figure 5 : Boutons permettant de naviguer dans les différentes parties du logiciel

- "Concepts" pour connaître la signification d'une notion inconnue. À la fin, cliquez sur "Retour" pour revenir au point de départ ;
- "Dossier" pour consulter votre dossier. À la fin, cliquez sur "Retour" ;

- "Vérification" pour passer de la phase expérimentation à la phase vérification ;
- "Menu" pour opérer d'autres choix dans le menu principal ;
- "Quitter" pour sortir définitivement du système.

Lorsque vous auriez complété un certain nombre de croisements, vous recevrez un message vous indiquant de passer à la conclusion.

4.1.3. Démarche au niveau de la conclusion

Ici également, vous disposez de "Consignes & aide" qui montrent les étapes à suivre pour mener à terme votre conclusion. Ces directives sont :

- La fenêtre, située en haut de l'écran, contient des éléments que vous devez placer un par un à l'intérieur des rectangles. Il suffit de sélectionner l'élément dans la fenêtre et de cliquer dans la case appropriée pour le placer dedans.
- Lorsque vous auriez terminé cette étape, cliquez sur "Correction". L'ordinateur fera la correction en pointant la case qui contiendrait un élément éronné. Pour changer l'élément faux, sélectionner dans la fenêtre celui que vous désirez remplacer et recliquer dans la case indiquée. Cliquez sur "Correction". Pour chaque faute, 10 points seront soustraits de votre note finale.
- À la fin de la correction, une question vous sera posée. 4 réponses sont proposées en bas et à gauche de l'écran. Cliquez sur celle qui vous semble exacte.
- Cliquez sur "Terminé" pour enregistrer les résultats de la conclusion dans votre dossier
- Pour relire ces consignes et/ou fermer cette fenêtre, cliquez sur "Consignes & aide".

La conclusion représentée par la (figure 6) se déroule en deux étapes.

La première étape consiste à remplir les cases vides par des lettres, des mots et des nombres présents dans "Liste des éléments". Celle-ci apparaît dès l'ouverture de la page-écran. Vous pouvez l'appeler à n'importe quel moment en cliquant sur le bouton "liste des éléments". La façon d'exploiter cette liste est expliquée dans les points 1 et 2 des consignes.

La seconde étape, vous invite à répondre à la question complémentaire suivante : "Comment expliquez-vous l'apparition du nouveau phénotype dans la descendance?". Le point 3 des consignes indique comment y parvenir.

♂ X ♀

Gris hybride X **Gris hybride**

Couleur du pelage chez les parents.

inimales des gènes qui gouvernent la couleur du pelage ?

Dominant (D) ou récessif (R) ?

Probabilités des facteurs dominant (D) et récessif (R) dans les gamètes ♂ et ♀ ?

Proportions génotypiques et phénotypiques de la descendance ?

Proportions génotypiques

Proportions phénotypiques

Souris /100

Souris /100

?

Consignes & aide

Liste des éléments

Terminé

Changer choix

Correction

Figure 6. Page-écran de la conclusion



À chaque erreur, l'ordinateur soustrait 10 points jusqu'à la fin de la correction. Une seconde note, également comprise entre 0 et 100, est allouée à la réponse complémentaire.

L'ordinateur vous propose de refaire la conclusion si votre note moyenne est inférieure à 70%, alors qu'une note supérieure à 70% vous autorise à passer à une nouvelle étape. L'ordinateur verse vos résultats et la note obtenue dans votre dossier et vous conduit au début du bloc 2 du laboratoire 1. Suivez la même démarche que précédemment et complétez ce bloc par une conclusion identique à celle de la (figure 6) mais portant sur la belle-de-nuit.

4.2. "LABORATOIRE 2"

La structure de cette pile est identique à celle du "*Laboratoire 1*", la progression pédagogique est également la même. La seule différence entre les deux laboratoires réside dans la démarche au niveau de la vérification. Dans le "*Laboratoire 1*" c'est vous qui déplacez les gamètes des parents dans l'échiquier de croisement, ici c'est l'ordinateur qui accomplit cette tâche. Cette procédure permet d'accélérer le processus ; mais surtout pour vous dispenser de certaines tâches inutiles et routinières.

4.3. "LABORATOIRE 3"

Contrairement aux deux laboratoires précédents, le Laboratoire 3 n'est constitué que d'un seul bloc subdivisé en trois sections : l'expérimentation, la vérification et la conclusion. Dans ce laboratoire vous allez faire des croisements sur la Drosophile. La progression est identique à celle du "*Laboratoire 1*" tant au niveau de la phase expérimentale qu'au niveau de la phase vérification. Au niveau de la vérification, c'est à vous de déplacer les gamètes des parents à l'intérieur de l'échiquier de croisement. Cette opération n'est pas longue comme c'est le cas dans le "*Laboratoire 2*", où c'est l'ordinateur qui remplit cette tâche.

4.4. "LABORATOIRE 4"

Ce Laboratoire est conçu dans le but de vous amener à faire une distinction entre le dihybridisme classique avec gènes indépendants, traité dans le "*Laboratoire 2*" et le

dihybridisme avec gènes liés présentant le phénomène du linkage. En spécifiant les objectifs de ce laboratoire, on peut préciser ce qu'on attend de vous.

Le "*Laboratoire 4*" comporte deux blocs. Le premier est destiné à suivre le linkage sur deux gènes liés chez la *Drosophile*. Le deuxième sur la forme et la couleur des graines chez le Maïs. Chaque bloc est divisé, à son tour, en deux sections. La première c'est l'expérimentation, où vous devez choisir le(s) phénotype(s) de la descendance et réaliser les croisements. Dans ce laboratoire il n'y a qu'un seul croisement par bloc. La deuxième section est le lieu où vous devez réaliser vos interprétations. À partir d'illustrations montrant les phases de la méiose et la répartition des chromosomes à l'intérieur de chaque cellule fille, on demande de faire un lien entre les résultats obtenus et la répartition aléatoire des allèles dans chaque cellule fille.

Cette pile s'achève par des exercices et des problèmes d'application.

4.5. "LABORATOIRE 5"

Nous avons conçu cette partie du logiciel de manière à vous faire réfléchir sur des situations problématiques humaines concrètes. À partir d'énoncés, on vous invite à prédire la constitution génétique de la descendance issue de mariages où l'un des deux parents, parfois les deux à la fois, sont porteurs ou atteints d'une anomalie héréditaire. La (figure 7), de la page suivante, illustre un exemple d'une situation qui figure dans ce laboratoire.

Le "Laboratoire 5" est formé de deux blocs : Le premier s'intéresse à des situations héréditaires humaines portant sur un seul gène localisé soit sur des autosomes, comme le gène qui gouverne les groupes sanguins ABO ; soit sur des chromosomes sexuels, comme par exemple le daltonisme et l'hypertrichose. Le deuxième bloc, vous amène à réfléchir sur des situations plus complexes mettant en évidence deux gènes à la fois portés par des autosomes, c'est le cas des groupes sanguins ABO combinés au facteur Rh.

Ce laboratoire se termine par des exercices et des problèmes.

Énoncé

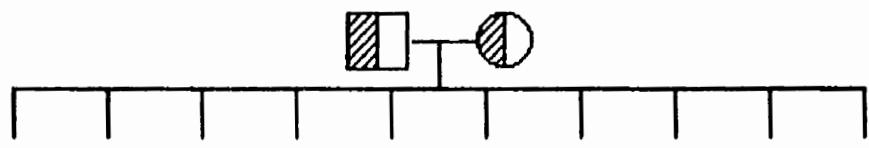
Un homme de groupe sanguin (A: Rh⁺) son génotype est $I^A I^B Rh^+ // Rh^-$ épouse une femme dont le groupe sanguin a la même constitution génotypique que le mari. Quelles vont-ête les proportions génotypiques probables des enfants de ce couple ?

11:15:08
00:00:22



Phénotypes de la descendance?

♀ \ ♂						Proportions phénotypiques	Phénotypes de la descendance		Légende pour compléter le pedigree	
						1/6	A ; Rh ⁺	⇒		
						1/6	A ; Rh ⁻	⇒		
						1/6	B ; Rh ⁺	⇒		
						1/6	B ; Rh ⁻	⇒		
						1/6	AB ; Rh ⁺	⇒		
						1/6	AB ; Rh ⁻	⇒		
						1/6	O ; Rh ⁺	⇒		
						1/6	O ; Rh ⁻	⇒		



Concepts	Vérification	Quitter	Menu	Dossier	Consignes & aide
----------	--------------	---------	------	---------	------------------

Figure 7: Page-écran illustrant un exemple d'énoncé du "LABORATOIRE 5"

- 1 Lisez attentivement les données de l'énoncé. Choisissez une réponse en cliquant sur le bouton "Phénotypes de la descendance?".
- 2 Cliquez sur ✓ pour continuer.
- 3 Observez les résultats du croisement dans l'échiquier, de même que les proportions phénotypiques et génotypiques de la descendance.
- 4 En se basant sur ces résultats et sur les proportions phénotypiques, cliquez sur l'enfant qui ne devrait pas être présent parmi la descendance sur l'arbre généalogique. Si le pedigree ne comporte aucune erreur, cliquez sur le bouton "Aucune erreur....".

Pour compléter le pedigree, utilisez les symboles situés à droite de l'écran en les glissant à l'aide de la souris dans les endroits appropriés de l'arbre généalogique.

À la fin, identifiez le(s) enfant(s) ayant reçu le gène responsable de l'anomalie et précisez si le pedigree comporte ou non quelque(s) erreur(s). Le pedigree n'apparaît que lorsque les gamètes sont placés dans l'échiquier de croisement et lorsque les résultats sont complètement affichés dans le tableau.

5. PRÉSENTATION DES AUTRES PILES

5.1. La pile "Exercices & problèmes"

Cette pile est conçue dans le but de vérifier vos connaissances. Son niveau d'intervention se situe à la fin de chaque laboratoire. Il est important de souligner que les exercices se rapportant à chacun des laboratoires ne sont pas prédéterminés, mais ils sont générés de façon aléatoire pour éviter aux étudiants d'une même classe de résoudre des exercices similaires. Au total, nous avons développé 74 exercices et problèmes répartis en cinq (5) groupes :

- 29 exercices sur le monohybridisme ;
- 19 exercices sur le dihybridisme avec gènes indépendants ;
- 8 exercices sur le dihybridisme avec gènes liés (LINKAGE) ;

- 8 problèmes sur l'hérédité liée au sexe ;
- 10 exercices sur l'hérédité humaine "Pedigree".

Cette pile est composée de deux (2) parties.

La première partie contient deux cartes qui s'enchaînent. On y trouve d'abord la carte présentant le titre de la pile "Exercices & problèmes", au niveau de laquelle l'ordinateur vous demande de saisir votre code. Le but de cette opération est de vérifier quel(s) laboratoire(s) vous avez complété(s) pour tirer au hasard les exercices qui vous seront proposés. La deuxième carte est un "modèle" représentant une carte d'exercices. Déplacez le curseur sur l'écran pour connaître le rôle de chacun des objets représentés et pour savoir la manière de résoudre les exercices.

La deuxième partie est constituée de 79 cartes. Ceux sont les cartes des exercices, dont la structure est identique d'une carte à l'autre et ressemblant à la (figure 8) suivante.

The diagram shows a rectangular window representing an exercise page. At the top, a box labeled '1 ÉNONCÉ DE L'EXERCICE OU DU PROBLÈME.' spans the width. Below this, on the left side, is a vertical list of elements: a box labeled '4 mot choisi, prêt à être placé.'; a box labeled '3' containing 'Aucune idée'; and ten boxes, each labeled 'mot à placer'. To the right of this list is a large area labeled '2 SOLUTION INCOMPLÈTE.' with the text '(espaces à remplir par les mots choisis et prêts à être placés)'. At the bottom of the window is a toolbar with five icons: 'Concepts' (with a circled '4'), 'Correction' (with a circled '6'), 'Quitter' (with a circled '3'), 'Aide' (with a circled '5'), and 'Dossier' (with a circled '4').

Figure 8 : Modèle d'une page-écran d'un exercice.

Les principales étapes pour mener à terme cette activité sont :

- faites une lecture attentive et complète de l'énoncé ;
- lisez la solution à compléter, tout en repérant le(s) mot(s) correspondant au(x) vide(s) à remplir ;
- cliquez sur le mot et observez s'il est dans le champ "mot à placer" ;
- cliquez dans l'espace vide où le mot sélectionné devrait être inséré. Dans le texte, il apparaîtra en gras ;
- lorsque tous les vides sont remplis, cliquez sur le bouton "*correction*". L'ordinateur corrige et à chaque erreur, il soustrait ($8/10 \times 100$) de la note totale qui est de 100 points. À la fin de la correction, l'ordinateur verse votre note dans votre dossier.

5.2. La pile "DOSSIERS"

La pile "*Dossiers*" recueille les informations concernant vos interactions avec le système. Elle est constituée de dossiers personnels et renseigne sur :

- les résultats obtenus au niveau des conclusions, des exercices et problèmes ;
- les croisements réalisés et les réponses choisies pour prédire le(s) phénotype(s) de la descendance issue des croisements effectués ;
- la fréquence d'accès aux divers blocs du didacticiel ;
- la durée totale consacrée à chacune des sections du logiciel.

Lorsque vous demandez à consulter votre dossier, l'ordinateur réclame votre code afin d'éviter aux pairs de pénétrer dans votre dossier. Seul le professeur peut avoir l'accès, ce qui lui permet d'obtenir des renseignements sur un ou plusieurs étudiants.

5.3. La pile "CONCEPTS"

Elle vous permet d'avoir des informations sur des concepts inconnus ayant un lien avec la génétique. L'exploitation de cette pile se fait à partir de n'importe quel endroit du logiciel. En cliquant sur le bouton "*Concepts*", l'ordinateur vous introduit à la première

page-écran qui est constituée d'un lexique de concepts. En cliquant sur une notion donnée, vous recevrez une information sur le concept choisi. Souvent cette information est accompagné d'illustrations et/ou d'exemples. La (figure 9) de la page suivante représente un exemple de concept. Pour continuer votre recherche, cliquez sur le bouton "Retour" afin de revenir au lexique, et de là suivez le même cheminement qu'avant. Lorsque la consultation est terminée, activez le bouton "Retour" présent sur la carte lexique, l'ordinateur vous ramène au point de départ initial dans lequel vous étiez avant d'aller à la pile "Concepts".




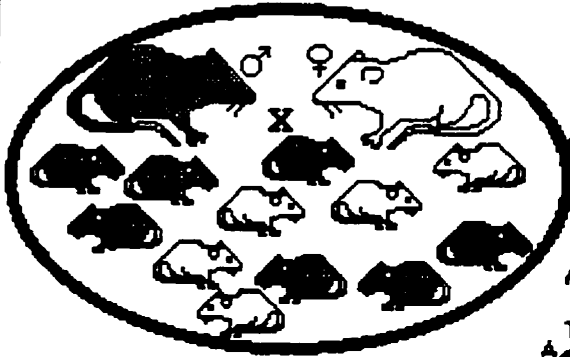
Phénotype	
<p>Phénotype: n.m. (du grec phainein, paraître et tupos qui veut dire empreinte ou marque). Ensemble des caractères visibles d'un individu. Le phénotype est l'expression, au niveau du corps, du message porté par les gènes *.</p> <p><i>Ne pas confondre entre phénotype et génotype *.</i></p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  souris grise </div> <div style="text-align: center;">  souris blanche </div> </div> <p style="text-align: center;"><u>Le phénotype des souris c'est:</u> <u>la couleur du pelage.</u></p> <div style="text-align: right;">  Retour </div>
<p>Cliquez sur l'étoile (*) pour connaître la signification des autres mots.</p>	

Figure 9 : Exemple d'une page-écran de la pile "CONCEPTS"

Annexe 9

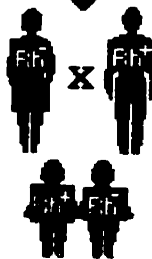
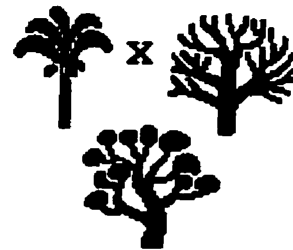
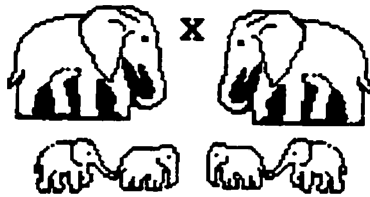
Cahier des activités de l'étudiant



Résultats statistiques

Nbre de portées	Grises pures	Grises hybrides	Blanches pures	% Total
1	8	4	4	100%
2	4	7	3	100%
3	7	1	3	100%
\bar{x}	6	4	3	100%

de la descendance



par

Abdel-Halim LASRI

LABORATOIRE DE ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE

sous la direction
de Monsieur
Pierre NONNON

1. But du cahier des activités

Ce document est élaboré dans le but de vous permettre de garder une trace écrite de vos observations, de vos hypothèses et des résultats obtenus dans chacun des laboratoires.

Vous êtes invités à réfléchir sur les différentes manipulations que vous allez faire dans chacun des laboratoires. Nous avons formulé quelques questions afin de vous amener à tirer des conclusions sur les croisements réalisés et sur les résultats obtenus.

2. Suggestions pour une utilisation adéquate du cahier des activités

Pour une meilleure gestion de votre cahier, nous vous proposons de l'utiliser au fur et à mesure que vous exploitez le logiciel. Nous vous suggérons de faire un nombre suffisant de photocopies (6 au maximum) des pages formant les laboratoires. Le but est de les compléter à chaque fois que vous menez un croisement donné.

Nom:

Prénom:

Code:

Phénotypes des parents: ♂ X ♀

Réponse choisie:

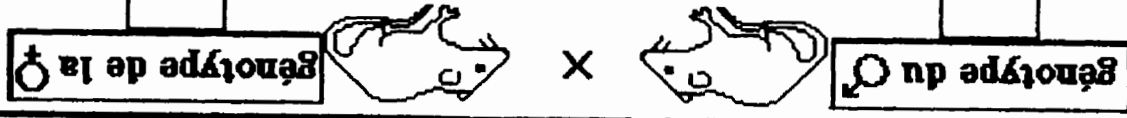
Données statistiques sur la descendance:

Nombre de la descendance	Nombre et % des blanches pures		Nombre et % des grises pures		Nombre et % des grises hybrides.		% total
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
Nombre des portées							
Moyenne X							

Tout est hybride correspond-elle aux résultats obtenus? Oui Non

Si non, expliquez pourquoi:

Croisement #:



Gènes portés par les gamètes du ♂

Gènes portés par les gamètes de la ♀

	♂	♀
♂		
♀		

Proportions des différents génotypes:

Gris pur	1/4
Gris hybride	1/4
Blanc pur	1/4

% souris grises }
% souris blanches }

Échiquier de croisement:

Les génotypes choisis correspondent-ils au individu de l'échiquier et au phénotype? Oui Non

Si non, expliquez pourquoi:

Vérification #:

LABORATOIRE 1
Conclusions sur la Souris

Nom: _____

Prénom: _____

Code: _____



X

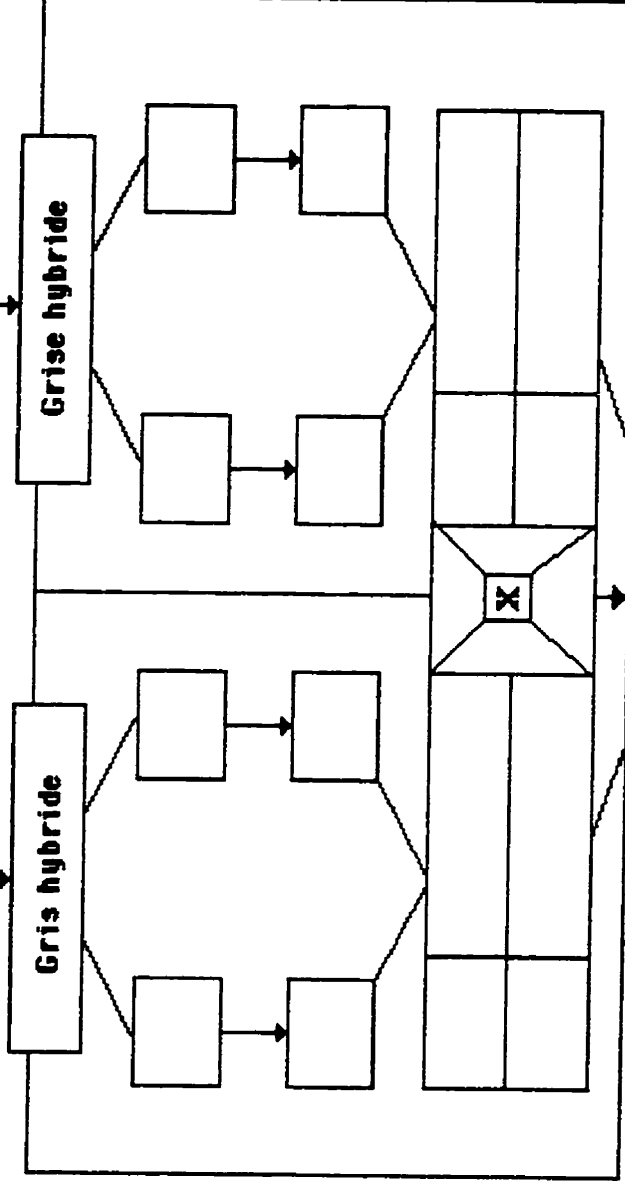


Couleur du pelage
chez les parents.

Initiales des gènes qui
gouvernent la couleur
du pelage ?

Dominant(D) ou recessif(R) ?

Probabilités du facteur (D)
et du facteur (R) dans les
gamètes du ♂ et de la ♀ ?



Proportions génotypiques et phénotypiques
dans la descendance ?

Proportions génotypiques

Proportions phénotypiques

Proportions génotypiques		Proportions phénotypiques	
			Souris
			Souris

Votre note globale ?
/100

Laboratoire 1
Expériences sur la Belle-de-Nuit

Nom: _____
Prénom: _____

Code: _____

Phénotypes des parents: _____ ♂ x ♀ _____

Réponse choisie: _____

Données statistiques sur la descendance :	Moyenne	Nombre des fleurs		des blanches pures		des rouges pures		des roses (hybrides)		% total
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
	X									

Notre hypothèse correspond-elle au résultat obtenu ?
 Oui Non

Si non, expliquez pourquoi ? _____

Croisement # :

Echiquier de croisement:

gènes portés par les gamètes de la ♀

	♂	♀
♂		
♀		

Gènes portés par les gamètes du ♂

Proportions des différents génotypes :

Fleurs rouges	/4
Fleurs roses	/4
Fleurs blanches	/4

% F. rouges }
 % F. roses }
 % F. blanches }

Parents:

génotype du ♂

génotype de la ♀

Les génotypes écrits correspondent-ils au schéma génétique ?
 Non Oui

Si non, expliquez pourquoi ? _____

Vérification # :

LABORATOIRE 1
Conclusions sur la Belle-de-Nuit

Nom:

Prénom:

Code:

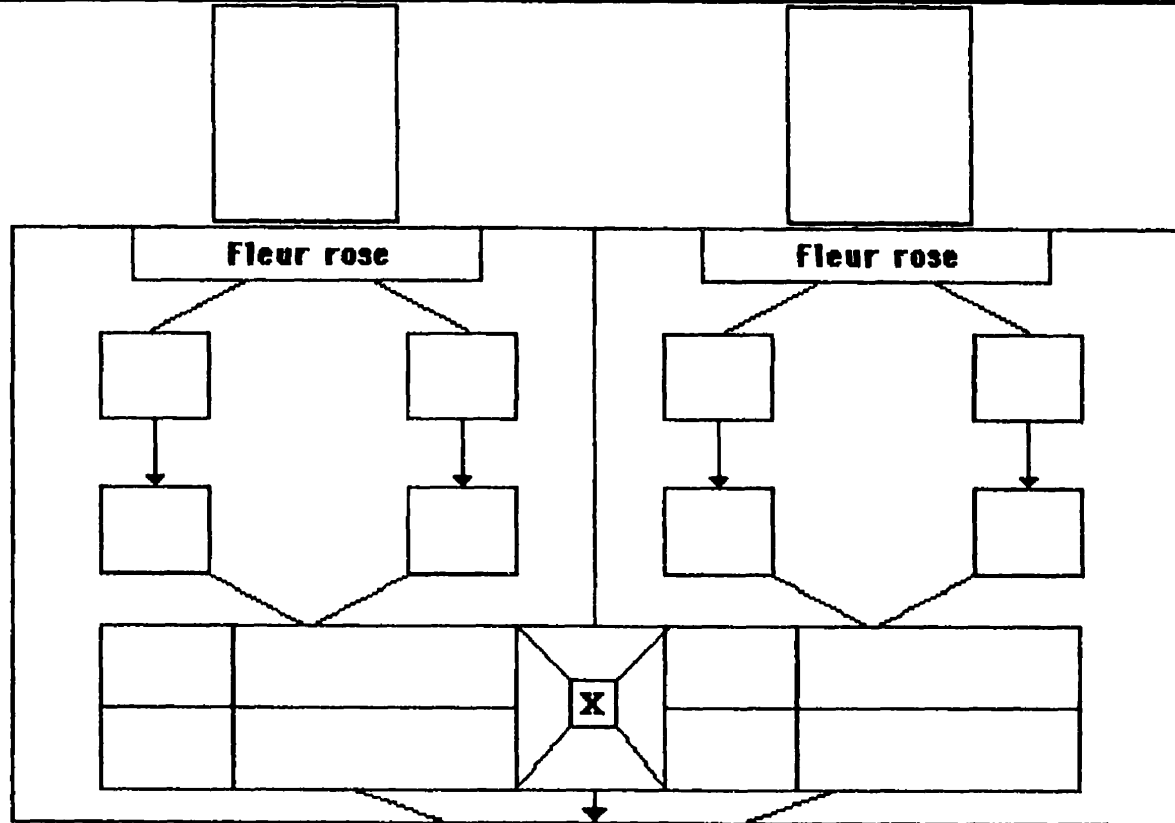
Couleur des fleurs chez la Belle-De-Nuit.

Initiales des gènes qui gouvernent la couleur des fleurs ?

Dominant (D), récessif (R) ou codominant (CD) ?

Probabilités des facteurs (D) et/ou (R) et/ou (CD) dans les gamètes ♂ et ♀ ?

Proportions génotypiques et phénotypiques dans la descendance ? →



Génotypes et leurs rapports respectifs.			Phénotypes et leurs proportions en %		

Votre note globale ?
/100

Laboratoire 2

Expériences sur la Drosophile

Nom:

Prénom:

Code:

Phénotypes des parents:

Couleur du corps Forme des ailes

♂

X

♀

Couleur du corps Forme des ailes

Réponse choisie:

Numéro des portées Moyenne	Nombre de la portée	Nombre et % des Grises-Normales		Nombre et % des Ébènes-Normales		Nombre et % des Grises-Vestigiales		Nombre et % des Ébènes-Vestigiales		% total de la descendance
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
X										

Données statistiques sur la descendance:

Votre hypothèse correspond-elle aux résultats obtenus ?

Oui

Non

Si non, expliquez pourquoi ?

Croisement # :

GénoCorps du ♂

GénoAiles du ♂

Parents

X

GénoCorps de la ♀

GénoAiles de la ♀

Les générations F1 et F2 correspondent-elles aux proportions génotypiques et phénotypiques ?

Oui

Non

Si non, expliquez pourquoi ?

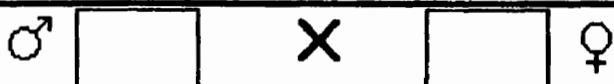
Vérification # :

Génotypes des Drosophiles	Phénotypes des Drosophiles	Proportions	
		Génoty.	Phénoty
EE/VgVg		/16	
EE/VgvG	Corps gris; ailes normales	/16	1/16
Ee/VgVg		/16	
Ee/VgvG	Grises; vestigiales	/16	1/16
ee/VgVg	Ébènes; normales	/16	1/16
ee/VgvG	Ébènes vestigiales	/16	1/16

LABORATOIRE 2
Conclusions sur la drosophile

Nom:
Prénom:

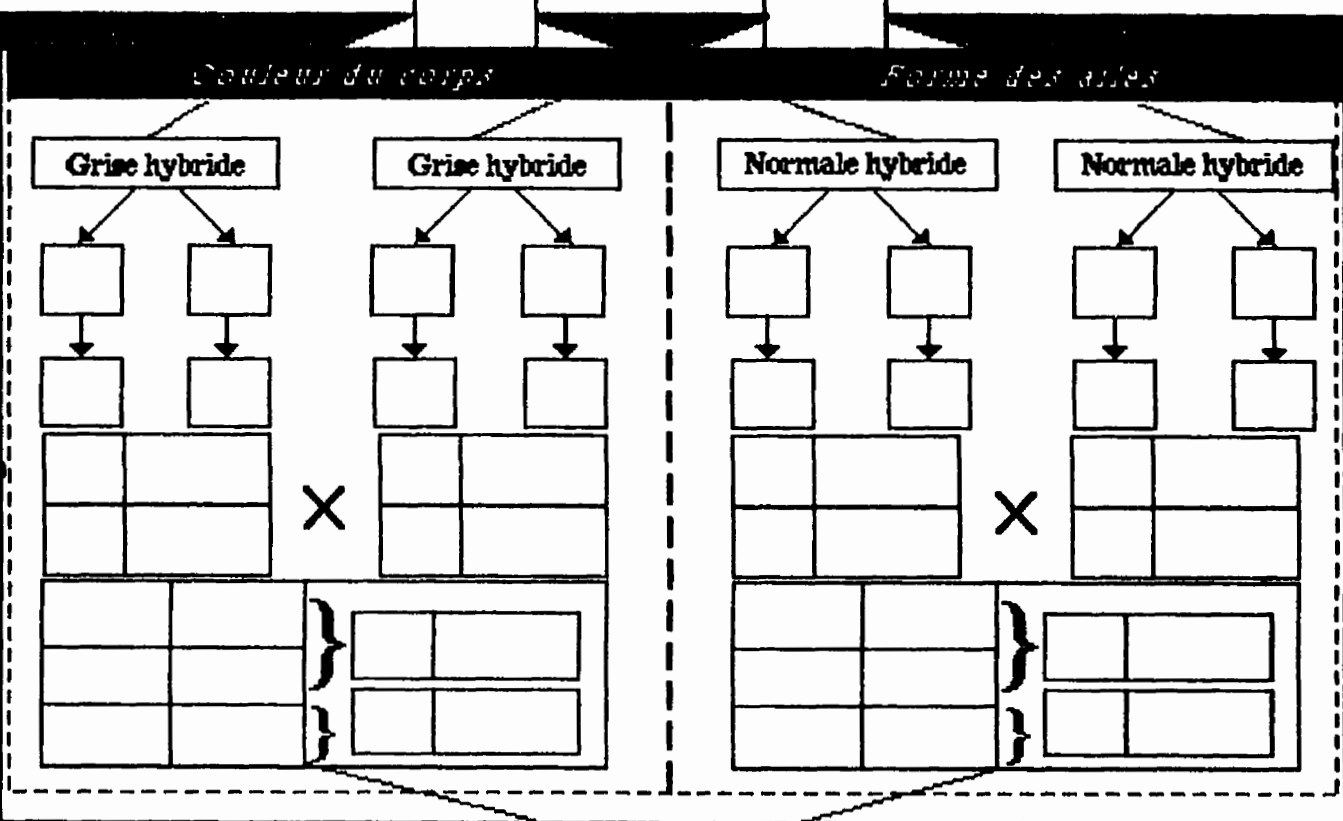
Code:



Couleur du corps

Forme des ailes

Forme et couleur des mouches parentales.
Initiales des deux gènes qui gouvernent les deux facteurs : Couleur du corps et forme des ailes.
Dominant(D) ou récessif(R)?
Probabilités du facteur (D) et du facteur récessif(R) dans les gamètes ♂ et ♀



Rapports D/D, D/R et R/R.

- Les caractères : Ébène et vestigiale sont récessifs
- Les 2 caractères sont liés.
- Les 2 caractères sont nouveaux.
- Aucune idée.

Votre note globale ?
/100

Laboratoire 2

Expériences sur le Pois

Nom:

Prénom:

Code:

Phénotypes des parents:

Couleur du Pois Forme du Pois

Couleur du Pois Forme du Pois

Réponse choisie:

♂

X

♀

Croisement #:

Numéro des portées Moyenne \bar{X}	Nombre de la portée	Nombre et % des Lisses-Jaunes		Nombre et % des Ridées-Jaunes		Nombre et % des Lisses-Vertes		% total de la descendance	
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%

Données statistiques sur la descendance:

Quelle hypothèse est la plus probable sur le résultat obtenu?

En quoi, est-il jugé improbable?

Oui

Non

Vérification #:

GénoForme du ♂

GénoCouleur du ♂

Parents

♀ X ♂

GénoForme de la ♀

GénoCouleur de la ♀

Les genotypes et ou les phénotypes tels que proportions génotypiques et phénotypiques?

En quoi, est-il jugé improbable?

Génotypes des graines	Phénotypes des graines de Pois	Proportions	
		Génoty.	Phénoty
LL/JJ		/16	
LL/Jj	Lisses jaunes	/16	1/16
Ll/JJ		/16	
Ll/Jj		/16	
LL/jj	Lisses vertes	/16	1/16
Ll/jj		/16	
ll/JJ	Ridées jaunes	/16	1/16
ll/Jj		/16	
ll/jj	Ridées vertes	/16	1/16



LABORATOIRE 2
Conclusions sur le Pois.

Nom:

Prénom:

Code:



Forme des graines

Couleur des graines

Forme et couleur des graines parentales.

Initiales des gènes qui gouvernent les Facteurs: Forme et couleur?

Dominant(D) ou recessif(R)?

Probabilités du facteur (D) et du facteur recessif(R) dans les gamètes ♂ et ♀

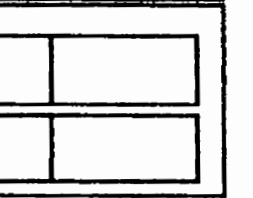
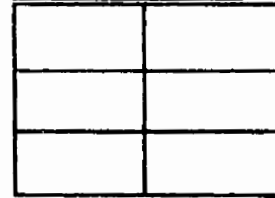
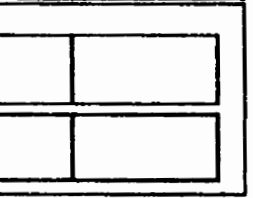
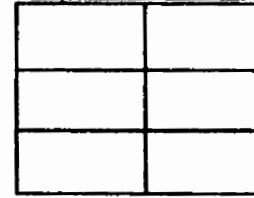
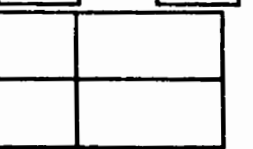
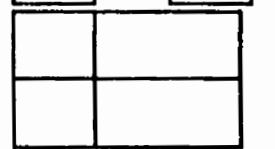
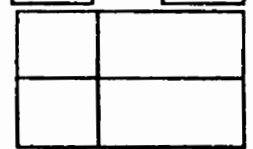
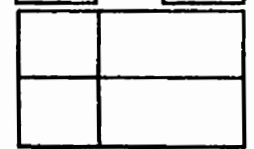
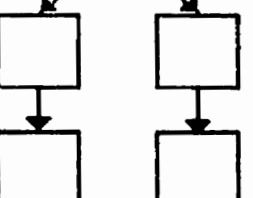
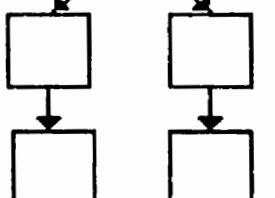
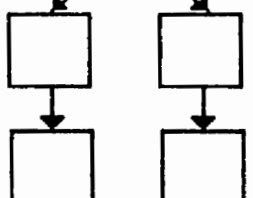
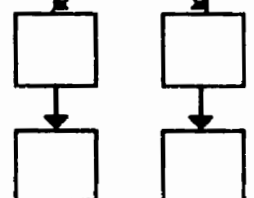
Rapports D/D, D/R et R/R.

Lisse hybride

Lisse hybride

jaune hybride

jaune hybride



- Les 2 caractères étaient masqués.
- Les deux caractères étaient liés.
- Les deux caractères sont nouveaux.
- Aucune idée.

Votre note globale ?
/100



Laboratoire 3
expériences sur la Drosophile

Nom:

Prénom:

Code:

Croisement #:

Phénotypes des parents: ♂ x ♀

Réponse choisie:

Données statistiques sur la descendance	Nombre des portées	Nbre total par portée	Nbre et % des drosophiles ♂						Nbre et % des drosophiles ♀						% total par portée
			Rouges purs		Rouges hybrides		Blancs purs		Rouges purs		Rouges hybrides		Blancs purs		
			Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	
Moyenne \bar{X}															

Voire résultat correspond-il au résultat obtenu? Oui Non

Si non, expliquez pourquoi: _____

Vérification #:

Parents: **génotype du ♂** **génotype de la ♀**

Échiquier de croisement:

gènes portés par les gamètes de la ♀	Gènes portés par les gamètes du ♂		
	♀	♂	
♀			
♂			

Proportions des différents génotypes:	Proportions phénotypiques	
	♂	♀
Rouges purs	1/4	1/4
Rouges hybrides	1/4	1/4
Blancs purs	1/4	1/4

Les génotypes choisis correspondent-ils aux individus de l'échiquier et au phénotypique? Oui Non

Si non, expliquez pourquoi: _____

À partir des deux croisements suivants sur la *Drosophile* répondez aux questions posées.

croisement 1 : une femelle aux yeux rouges x un mâle aux yeux blancs

La descendance : est constituée de 50% de femelles aux yeux rouges et de 50% de mâles aux yeux rouges.

croisement 2 : Femelle aux yeux blancs x mâle aux yeux rouges

La descendance : est constituée de 50% aux yeux rouges toutes femelles et 50% aux yeux blancs tous des mâles.

Comment interprétez-vous les proportions obtenues dans chacun des deux croisements.

Croisement 1 :

Croisement 2 :

Le gène qui détermine la coloration blanche de l'oeil est-il porté par :

un autosome (chromosome non sexuel)

ou par

un hétérochromosome (chromosome sexuel)

Quels sont les génotypes d'une femelle à yeux rouges : _____ ; _____ ;

Quels sont les génotypes d'un mâle à yeux rouges : _____ ;

Quels sont les génotypes d'une femelle à yeux blancs et d'un mâle à yeux blancs.

Génotypes du mâle à yeux blancs : _____ ;

Génotype de la femelle à yeux blancs : _____ ;



LABORATOIRE 4
Expériences sur la Drosophile

Nom:

Code:

Prénom:

Dans cette partie du laboratoire 4, vous ne feriez qu'un seul croisement qui est:

une femelle hybride double hétérozygote $\frac{B Yg}{b vg} \text{♀}$ \times un mâle homozygote double récessif $\frac{b vg}{b vg} \text{♂}$

Mais avant de faire ce croisement, observez les résultats du croisement inverse:

Le croisement: un mâle hybride double hétérozygote $\frac{B Yg}{b vg} \text{♂}$ \times une femelle double homozygote récessive $\frac{b vg}{b vg} \text{♀}$

Ce croisement donne deux catégories de descendants: 50% d'hybrides et 50% doubles récessifs homozygotes.

Les résultats phénotypiques de la descendance du croisement que vous allez faire seront-ils identiques ou différents ?

Parents: double hétérozygote $\frac{B Yg}{b vg} \text{♂}$ \times ♀ $\frac{b vg}{b vg}$ double homozygote récessive

Données statistiques de la descendance:

Numéro des portées	Nombre de la portée	Nombre et % des Grises-Normales		Nombre et % des Ébènes-Normales		Nombre et % des Grises-Vestigiales		Nombre et % des Ébènes-Vestigiales		% total de la descendance
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
Moyenne \bar{X}	15	8	50%	0	0%	0	0%	7	50%	100%

Parents: double hétérozygote $\frac{B Yg}{b vg} \text{♀}$ \times ♂ $\frac{b vg}{b vg}$ double homozygote récessive

Votre réponse:

Données statistiques de la descendance:

Numéro des portées	Nombre de la portée	Nombre et % des Grises-Normales		Nombre et % des Ébènes-Normales		Nombre et % des Grises-Vestigiales		Nombre et % des Ébènes-Vestigiales		% total de la descendance
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
Moyenne \bar{X}										

votre hypothèse correspond-elle aux résultats obtenus ?

Oui

Non

Si non, expliquez pourquoi ?

1. Notion de recombinaison

Les résultats obtenus dans le 2ème croisement ne s'accordent avec aucun obtenu jusqu'à présent. Ces résultats ne correspondent :

- ni à une disjonction indépendante qui aurait conduit à 25% de chaque phénotype,
 - ni à une liaison absolue comme dans le cas du croisement entre un mâle hybride et une femelle double homozygote récessive.
- Pour expliquer ce fait, il faut donc songer à une liaison partielle entre les gènes dans le cas où l'individu hybride est une femelle. La liaison entre les deux allèles *ébène-vestigial* n'a été absolue que dans $41,5 + 41,5 = 83\%$ des cas (combinaisons parentales). Le reste, soit 17% ($8,5 + 8,5$), a donné naissance aux phénotypes recombinés, ceux inattendus. On dit qu'il y a eu 17% de recombinaisons ou que le taux de recombinaison est de 17% .

2. Interprétation cytologique

Morgan a expliqué la recombinaison ainsi : lors de la formation des gamètes, les chromosomes homologues, avant de se séparer peuvent se croiser l'un sur l'autre. Quand les 2 chromosomes se séparent, il peut se produire un "échange" des segments situés après le croisement. Ce phénomène d'enjambement suivi d'un échange entre les segments, a reçu le nom de crossing-over.

- * les taux de recombinaison ne dépendent pas de la nature des gènes étudiés, mais uniquement de la position qu'occupe ces gènes sur le chromosome ;
 - * les taux de recombinaison varient suivant les couples d'allèles considérés de 0 à 50% : un taux de 0% correspond à une liaison absolue. Un taux de 50% ne peut en principe être atteint puisqu'il correspond à l'apparition de 25% de chacun des phénotypes ; ce cas correspond à une disjonction indépendante donc à des gènes portés par des chromosomes indépendants.
- Les crossing-over ont des chances égales de se produire en tout point d'un chromosome, autrement dit le niveau où se fait la rupture dépend du simple hasard. Un crossing-over aura plus de chance de se produire entre 2 gènes lorsque ceux-ci sont plus éloignés l'un de l'autre sur le chromosome. En d'autres termes, le taux des recombinaisons sera d'autant plus élevé que les 2 gènes seront plus éloignés et inversement. Les résultats statistiques nous livrent une idée sur la distance entre deux gènes. Une unité arbitraire est égale par convention à 1% de recombinaison (l'unité de recombinaison est appelée centimorgan).
- Par exemple dans le croisement étudié, on trouve 17% de recombinaisons entre les deux gènes. Ceci s'exprime en disant que la distance entre le gène responsable de la couleur du corps et celui de la forme des ailes est de 17 unités.



Laboratoire 4
Expériences sur le Maïs

Nom:

Prénom:

Code:

Dans cette partie du laboratoire 4, vous ne feriez qu'un seul croisement qui est:

Maïs hybride double hétérozygote $\frac{Sh\ Bz}{sh\ bz}$ ♀ × un Maïs homozygote double récessif $\frac{sh\ bz}{sh\ bz}$ ♂

Mais avant de faire ce croisement, observez les résultats du croisement inverse:

Le croisement: un hybride double hétérozygote $\frac{Sh\ Bz}{sh\ bz}$ ♂ × une graine de maïs bouble homozygote récessive $\frac{sh\ bz}{sh\ bz}$ ♀

Ce croisement donne deux catégories de descendants: 50% d'hybrides et 50% doubles récessifs homozygotes.

Les résultats phénotypiques de la descendance du croisement que vous allez faire seront-ils identiques ou différents ?

Données statistiques de la descendance:

Numéro des portées	Nombre de la portée	Nombre et % des Violets-ronds		Nombre et % des Jaunes-ronds.		Nombre et % des Violets-comprimés		Nombre et % des Jaunes-comprimés		% total de la descendance
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
Moyenne \bar{X}	13	7	50%	0	0%	0	0%	6	50%	100%

Parents: Maïs double hétérozygote $\frac{Sh\ Bz}{sh\ bz}$ ♀ × ♂ $\frac{sh\ bz}{sh\ bz}$ Maïs double homozygote récessif

Votre réponse:

Données statistiques de la descendance:

Numéro des portées	Nombre de la portée	Nombre et % des Violets-ronds		Nombre et % des Jaunes-ronds.		Nombre et % des Violets-comprimés		Nombre et % des Jaunes-comprimés		% total de la descendance
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
Moyenne \bar{X}										

Quelle hypothèse correspond-elle aux résultats obtenus ? Oui Non

Si non, expliquez pourquoi ? _____

Annexe 10

Disquettes du simulateur "Génétique"

Contenu des quatre (4) disquettes

Disquette # 1 : application Hypercard ; base ; Laboratoire 5 ;

Disquette # 2 : Laboratoire 1 ; Laboratoire 2 ; Laboratoire 3 ; Laboratoire 4 ;

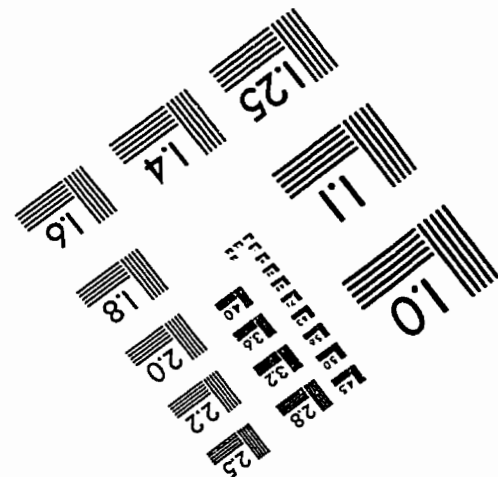
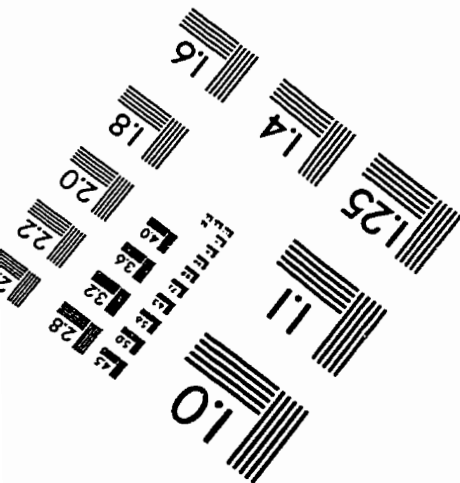
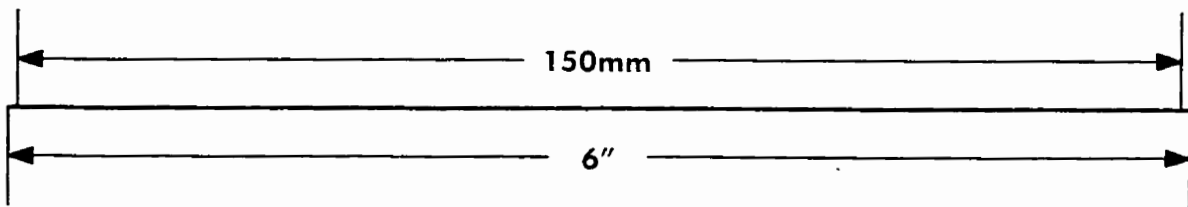
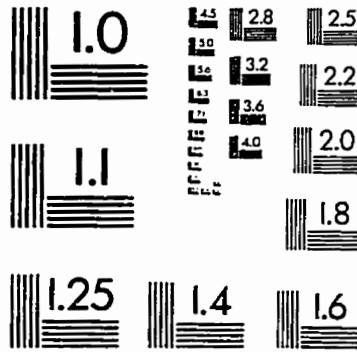
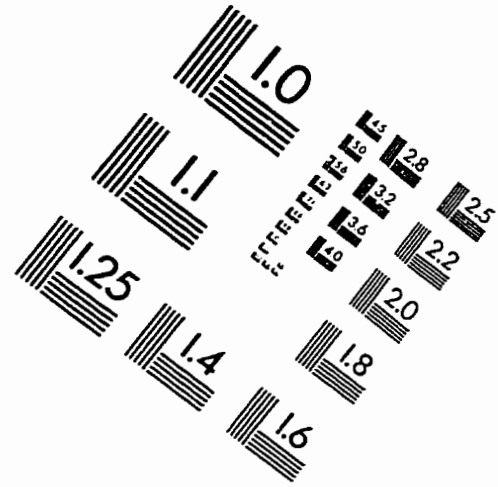
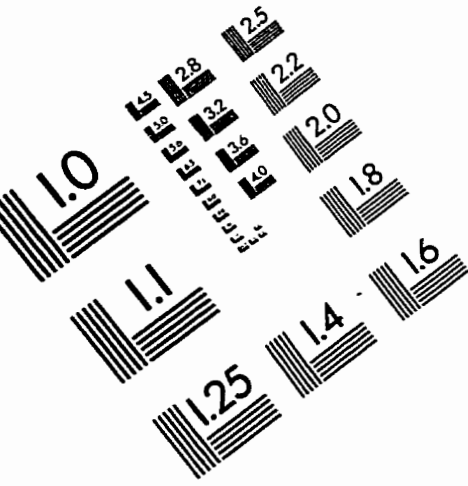
Disquette # 3 : Exercices & problèmes ; Principale ; concepts ; données ; dossiers ;

Disquette # 4 : Belle-de-Nuit ; images ; maïs ; pois ; souris ;

Mode d'installation du simulateur "Génétique" sur le disque dur

- 1- créer un nouveau dossier sur le disque dur ;
- 2- nommer le nouveau dossier "Génétique" ;
- 3- copier le contenu des 4 disquettes dans le dossier "Génétique", SAUF les FONTS : génétique et exposant qui doivent être placées dans le SYSTÈME avec les POLICES ;
- 4- sélectionner "Principale" et créer son alias à partir du menu FICHIER ;
- 5- installer "*Principale (alias)*" sur le bureau de l'ordinateur (au coin inférieur gauche de l'écran) ;
- 6- redémarrer votre ordinateur à partir du menu RANGEMENT ;
- 7- pour lancer "Génétique", cliquer deux (2) fois de suite sur "*Principale (alias)*" ;

IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)



APPLIED IMAGE, Inc
1653 East Main Street
Rochester, NY 14609 USA
Phone: 716/482-0300
Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved