

A LA REDECOUVERTE DES LOIS DE LA GENETIQUE CLASSIQUE PAR L'UTILISATION D'UN LOGICIEL DE SIMULATION

[REDISCOVERY OF THE GENETIC'S LAWS BY USING A GENETICS PROGRAM]

B. AGORRAM, SE KHZAMI, and S. SELMAOUI

University of Cadi Ayyad, Equipe de Recherche en Education et Formation,
Ecole Normale Supérieure, P.O Box 2400, Marrakech 40000, Morocco

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study describes a lab in which students engaged in inquiry in classical genetics in order to develop a better understanding of the concepts and reasoning skills necessary to support knowledge claims about genetics. The simulation program called Drosophly can be used to foster about the conceptual knowledge used by university students when investigating the genetic's determinism of traits in drosophila. An analysis of the procedural knowledge for experimenting with the computer model is provided.

The results of this case study provide a model of how Drosophly can be used to engage students in a complex problem-solving experience that encourages their meta-cognitive reflection and understanding about laws of the genetics. Implications for teaching are provided and ways to improve student learning and problem solving in classical genetics are suggested.

KEYWORDS: Genetics Simulator, Inquiry, Drosophly, University, Experimentation.

RÉSUMÉ: La génétique est parmi les disciplines de Biologie qui posent problème aux étudiants. L'apprentissage de la génétique aurait été facilité par la réalisation de travaux pratiques, mais certaines expériences sur la drosophile ne sont pas possibles du fait des grands effectifs des étudiants et du temps requis pour ces expériences ainsi que leur coût financier. L'utilisation de logiciel de simulation constitue une démarche permettant de surmonter ces contraintes. En effet le logiciel étudié donne aux étudiants la possibilité d'effectuer des croisements contrôlés avec des drosophiles comme le faisait le généticien Thomas Morgan au début du siècle dernier. Les étudiants utilisent cet outil pour concevoir et réaliser des expériences et pour redécouvrir les lois de la génétique classique. L'analyse de la séquence du TP permet de lister certaines difficultés liées au logiciel et au fait que les étudiants ne sont pas habitués à travailler de façon autonome surtout s'ils sont mis dans une situation d'investigation.

MOTS-CLEFS: simulation, Génétique classique, Drosophly, Université, expérimentation, Investigation.

1 INTRODUCTION

La génétique est la discipline biologique qui pose le plus de problèmes d'apprentissage aux apprenants aussi bien au secondaire ([1]; [2]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]; [8]; [9]; [10]; [11]; [12]) qu'à l'université ([13]; [14]; [4]; [15]).

Les méthodes d'enseignement de la génétique ont été montrées du doigt, mais la spécificité de la génétique pose aussi problème, notamment le fait que cette discipline fait appel à plusieurs niveaux d'abstraction (moléculaire, supramoléculaire, cellulaire et au niveau de l'organisme entier), à l'utilisation d'un symbolisme spécifique et à une argumentation faisant souvent appel aux mathématiques. Les différents concepts de la génétique sont généralement enseignés à différents niveaux

scolaires, souvent espacés dans le temps, et dans d'autres disciplines (biochimie, biologie cellulaire...), ce qui rend la tâche difficile aux étudiants pour faire des liens entre ces concepts ([6]; [11]).

Une des approches pour rendre l'enseignement de la génétique plus attrayant et efficace est d'amener les étudiants à faire ce que les généticiens faisaient, c'est à dire de mener des croisements génétiques et d'en analyser les résultats.

L'expérimentation sur la drosophile est très instructive et permet à travers divers croisements entre des souches différant par leur phénotype de redécouvrir les lois de la génétique classique. Mais de nombreux problèmes entravent l'expérimentation sur du matériel vivant dont les grands effectifs des étudiants et le coût important de ces expériences. De plus, la réalisation des croisements nécessaires en utilisant de véritables mouches prendrait un temps considérable.

Pour pallier à ces problèmes, différentes méthodes ont été proposées dont le recours à la simulation informatique ([16]; [17], [18]; [19]). Ainsi, plusieurs logiciels de simulation ont été élaborés qui ont en commun le fait de pouvoir faire des dizaines de croisements virtuels sans limitation de temps [20].

La présente étude a pour objectifs de présenter un logiciel de simulation de croisements chez la drosophile et analyser les avantages et difficultés de son utilisation en classe dans des situations d'enseignement basées sur la démarche d'investigation.

2 CADRE THÉORIQUE

2.1 ENSEIGNEMENT DE LA GÉNÉTIQUE ENTRE L'EXPÉRIMENTATION RÉELLE ET SIMULÉE

La génétique est une science expérimentale. Pour pouvoir enseigner la génétique d'une manière efficace, il est indispensable d'introduire des expériences et des manipulations dans des contextes éducatifs bien particuliers.

L'introduction de l'expérimentation a plusieurs objectifs dont permettre aux apprenants de faire face aux phénomènes naturels, améliorer l'esprit scientifique et l'envie de recherche chez eux, améliorer les compétences d'observation, de description, d'analyse et de déduction [21].

Tous ces avantages font de l'expérimentation une tâche indispensable dans l'enseignement de la génétique sauf en cas de contraintes financières, matérielles ou temporelles, ce qui peut donc nous renvoyer vers d'autres alternatives telles que la simulation informatique.

L'ordinateur constitue une valeur ajoutée didactique et pédagogique puisqu'il permet, via des logiciels de simulation ou laboratoire virtuelle, de faire des expériences virtuelles ou simulées. Ainsi l'élève passe de la situation d'apprenant passif (qui reçoit et réagit à la situation dans laquelle il est confronté) à un apprenant actif (l'élève apprend en interaction, il suit une démarche de recherche qui lui permettrait de construire son savoir scientifique). Cependant, les résultats obtenus par ordinateur ne prennent pas en considération la complexité de la réalité et la difficulté de sa perception, les expériences virtuelles ne sont que des modèles des expériences réelles.

2.2 APPORTS DE L'UTILISATION DES SIMULATIONS

La simulation numérique a généralement trois objectifs majeurs : simuler pour comprendre, simuler pour construire et simuler pour apprendre [22].

La simulation numérique est aujourd'hui de plus en plus utilisée dans le processus d'apprentissage. Elle a pour objectifs de faire apprendre des situations, des systèmes ou des phénomènes complexes aux étudiants. Elle place l'apprenant dans une situation donnée bien déterminée, souvent avec la participation du sujet et lui offre ainsi un défi conceptuel et mental et renforce ainsi sa motivation vis-à-vis des connaissances à acquérir. La simulation permet, aux apprenants de comprendre des concepts considérés plus avancés ayant un degré de difficulté considérable qui dépasse parfois leur niveau d'apprentissage.

La simulation constitue aussi un outil important pour l'enseignant : Elle donne plus de temps pour individualiser l'enseignement [24] et se pencher sur les difficultés d'apprentissage de certains élèves et d'approfondir plus des concepts avec d'autres élèves et les stimuler d'avantage pour apprendre plus [25] [26];

Quelques travaux de recherche ont suggéré de rapprocher le travail des apprenants à celui des chercheurs scientifiques car le contexte de recherche permet la mise à jour et l'utilisation des connaissances antérieures, le conflit cognitif et la métacognition. Cette mise en contexte de recherche scientifique pousse les étudiants à formuler des hypothèses et à les

confronter avec des observations (conflit cognitif) pour les amener à se construire de nouvelles connaissances et donner du sens à ce qu'ils apprennent.

Dans notre étude, la simulation par Drososfly sera faite dans le contexte décrit précédemment, c'est-à-dire qu'on va placer les étudiants devant un problème qu'ils doivent résoudre en utilisant les outils des chercheurs pionniers qui ont établi les lois de transmission des caractères héréditaires tels que le généticien Thomas Morgan.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1 DESCRIPTION DU LOGICIEL DROSOSFLY

Drososfly est un programme de simulation expérimentale qui permet de simuler des croisements de drosophiles, en mettant l'utilisateur devant une situation de travail très proche de celle de l'expérimentation réelle. C'est de cette manière que l'utilisateur du logiciel sera amené à préparer le milieu de culture, commander les différentes races de mouches chez un fournisseur, introduire ces mouches dans les flacons d'élevage, les endormir et les manipuler et les croiser et analyser les résultats des croisements [28].

Ce logiciel a été conçu de telle façon que l'on puisse réaliser des expériences complexes et exigeantes, qui demanderont plusieurs séances de travaux pratiques successives dans un laps de temps réduit avec des résultats quantitativement proches de la réalité.

Dans cette vision, Drososfly est pourvu d'un système de mémorisation automatique, personnalisée pour chaque utilisateur, chacun peut donc arrêter son travail à tout moment, et le reprendre ultérieurement.

La mouche de fruit ou mouche de vinaigre la drosophile (*Drosophila melanogaster*) est utilisée comme matériel expérimental de choix du fait de son cycle de vie très restreint et le nombre important des individus dans chaque génération ce qui permet une bonne application des lois statistiques et la mise en œuvre de la transmission des gènes.

La barre de menu (figure 1) comporte des boutons correspondant à diverses fonctionnalités (de gauche à droite: paillasse de travail, commande des souches, incubateur, observation des mouches à la loupe, préparation du milieu d'élevage, saut temporal, compte rendu des opérations effectuées, galerie des photos de différentes souches de drosophiles, aide en ligne, démonstrations animées, dispositif d'anesthésie, élimination des mouches évadées, stylo de marquage, nettoyage des flacons d'élevage).



Fig 1: Barre de menu du logiciel Drososfly

Nombreuses souches sont disponibles, elles sont toutes de races pures. Les caractères étudiés sont la couleur du corps, la couleur des yeux et leur forme, Forme des ailes et leur disposition, les soies thoraciques. On peut commander des souches différant par un seul caractère (Monohybridisme), deux caractères (Dihybridisme) et trois caractères (Trihybridisme). On peut travailler sur des caractères indépendants ou liés, dans ce cas on peut calculer les distances génétiques.

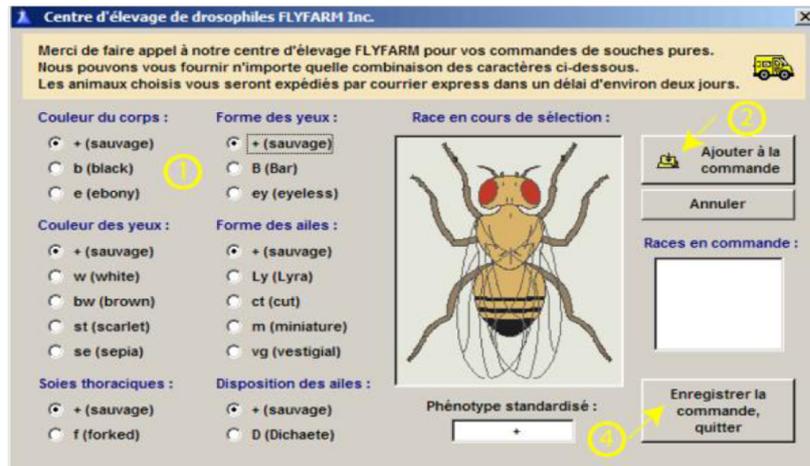


Fig 2. Souches disponibles de drosophile.

Les résultats des croisements peuvent être visualisés en utilisant les phénotypes des mouches ou leur génotypes. Le logiciel donne les effectifs correspondant à chaque phénotype mais aussi les pourcentages correspondants [29].

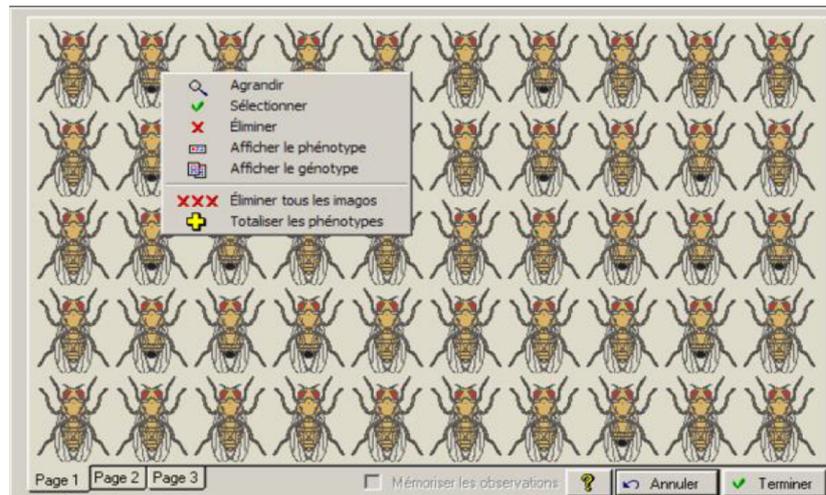


Fig 3. Résultats d'un croisement F1* F1

3.2 CONTEXTE D'UTILISATION DE DROSOFLY ET DEROULEMENT

Dans le présent travail, on va utiliser la simulation via Drososfly lors de séances de Travaux pratiques selon une démarche d'investigation. Les étudiants ne vont pas suivre un protocole prédéterminé qui les guidera vers le résultat final mais ils seront amenés à identifier la problématique, poser la question à résoudre, formuler des hypothèses, concevoir une stratégie de résolution du problème, investiguer en utilisant le logiciel, recueillir les résultats, les analyser et les comparer à l'hypothèse formulée.

Deux séances de travaux pratiques ont été réalisées avec les étudiants, chaque séance dure en moyenne de 3h1/2 à 4h.

- Séance1: La séance a eu lieu dans la salle d'Informatique. Elle s'est déroulée en trois phases.

Dans la première phase, l'enseignant a fait une présentation sur le logiciel Drososfly en insistant plus sur les aspects techniques que sur les aspects disciplinaires (génétiques).

Pendant la seconde phase, les étudiants se sont familiarisés avec le logiciel et font appel à l'enseignant dans le cas de difficulté technique.

La troisième phase a porté sur l'expérimentation. L'enseignant a montré par video-projection une mouche sauvage et une mouche mutante (couleur du corps ebony).

On a demandé aux étudiants de s'imaginer à la place du généticien Thomas Morgan dans la situation de découverte de cette souche mutante dans un flacon d'élevage.

Les étudiants sont arrivés à la question suivante : *"Quel est le déterminisme génétique du caractère ebony"*.

On leur a demandé de penser à la résolution de ce problème tout en consignait leur travail sur une fiche qui leur a été distribué et qu'on récupère à la fin de la séance (Fiche 1).

- **Séance 2:** Elle est identique à la précédente sauf que les activités d'investigation ont porté sur d'autres caractères dont on cherchera le déterminisme génétique.

Donc, en total 4 activités ont été réalisées:

- Caractère : couleur du corps ebony ; forme des ailes vestigial : Monohybridisme
- Caractère : couleur des yeux white (caractère lié à l'X).
- Caractères couleur du corps ebony et forme des ailes vestigiale : Dihybridisme avec indépendance génétique (activité A).
- Caractères couleur des yeux scarlet et forme des ailes cut : Dihybridisme avec liaison génétique (activité B).
- Caractères couleur des yeux sepia et couleur du corps ebony : Dihybridisme (activité C).

A la dernière heure de la séance 2, on a fait une évaluation qui a porté sur un problème plus ardu concernant le cas de 3 gènes liés et portés par le chromosome X (caractères white, forked, cut) (activité D).

3.3 OUTILS D'INVESTIGATION UTILISÉS DANS LA RECHERCHE

Notre recherche est qualitative et porte sur un échantillon de 17 étudiants de la première année du Master d'enseignement en sciences de la Vie et de la Terre (Bac + 4 ans). Ce sont des étudiants en formation pour être des enseignants des sciences de la Vie et de la Terre au lycée.

3.3.1 LE QUESTIONNAIRE

Un questionnaire a été utilisé: en pré-test et en post-test. Ce questionnaire portait sur les connaissances des étudiants en génétique. Il comporte 39 questions relatives aux différentes parties de la génétique. Le questionnaire post-test leur a été distribué après la dernière séance du TP (les résultats de ce questionnaire ne sont pas abordés dans cet article).

Un deuxième questionnaire a été administré à la fin des séances de TP et comporte des questions portant sur les points suivants:

- La satisfaction des étudiants sur l'usage de DROSOFLY.
- L'évaluation du côté technique et ergonomique du logiciel.
- L'évaluation du côté cognitif et conceptuel du logiciel.
- Les avantages et les défauts du logiciel.
- Les recommandations et propositions pour améliorer l'expérimentation simulée
- L'opinion des étudiants sur l'utilisation potentielle de ce logiciel avec leurs élèves une fois qu'ils auront intégré leur lycée.

3.3.2 LA GRILLE D'OBSERVATION

Elle a été conçue dans le but d'analyser la démarche utilisée lors de l'investigation et le raisonnement sous-jacent aux différentes actions entreprises par les étudiants. La grille a porté sur trois aspects:

- L'aspect cognitif: avec des questions qui traitent quelques concepts de base de la génétique mendélienne que les étudiants doivent connaître pour pouvoir progresser dans la résolution du problème (test cross, back cross, F1...).
- L'aspect technique: avec des questions sur les aspects techniques du logiciel qui sont en partie liées à la Biologie de la drosophile et aux techniques des croisements (saut temporel, élimination des imagos, température d'incubation...).
- L'aspect stratégique: des questions portant sur le raisonnement et l'argumentation des actions effectuées dans la démarche choisie (pertinence du choix des croisements, des souches commandées, des croisements, l'explication des résultats des croisements, les conclusions tirées de chaque étape...).

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 ANALYSE DES FICHES D'ACTIVITÉS

Pour travailler selon une démarche d'investigation, les étudiants sont censés proposer des hypothèses et les vérifier par l'expérimentation. Le critère de choix des hypothèses de base est utilisé dans le cas de notre recherche pour pouvoir juger le raisonnement et la démarche des étudiants pour la résolution du problème posé.

Tableau 1: Pourcentage des étudiants selon la pertinence des hypothèses formulées

Activité	A	B	C	D
Niveau de difficulté	+	+	++	+++
Hypothèse pertinente	53 %	93%	85%	63%
Hypothèse non pertinente ou absente	47%	7%	15%	37%

On constate que plus l'activité est difficile et complexe, plus les étudiants trouvent des problèmes à formuler des hypothèses pertinentes concernant le mode de transmission du caractère étudié.

La formulation de l'hypothèse est d'une grande importance parce que c'est elle qui structure le reste de l'investigation (notamment le choix de la méthode d'investigation).

Dans le cas du problème posé dans toutes les activités, les hypothèses concernent 3 éléments : Le gène gouvernant le caractère étudié est autosomal ou lié à l'X, la relation de dominance/récessivité entre les allèles, l'indépendance ou la liaison génétique dans le cas du dihybridisme et trihybridisme.

Donc l'étudiant doit formuler une hypothèse qu'il va vérifier par les croisements entre des souches correctement choisies.

Les étudiants ont déjà traité ces cas dans le cours de génétique mendélienne et dans les TD dans lesquels ils ont vu comment résoudre un exercice de génétique portant sur l'analyse du déterminisme génétique de caractères héréditaires. Dans les TD, les étudiants sont amenés, à partir de résultats de différents croisements, à construire un modèle de déterminisme, c'est une démarche déductive. Mais on constate qu'une fois le contexte changé (situation des TP), les étudiants trouvent des difficultés dans la formulation d'une hypothèse sur le déterminisme génétique, dans cette situation, ils devraient utiliser une démarche hypothético-déductive.

Concernant le choix de la méthode d'investigation, la majorité des étudiants sont capables d'imaginer une procédure de résolution du problème (87% des étudiants). Ils savent tous qu'ils doivent faire des croisements contrôlés entre deux souches de races pures de drosophiles et d'analyser la F1 et puis faire croiser les mouches de la F1 entre eux (F1*F1) ou avec un mâle double ou triple récessif selon qu'on a affaire à un cas de dihybridisme ou trihybridisme (Test-cross).

Mais une partie des étudiants (47%) peignent à choisir les souches parentes à commander, et s'ils le font correctement, ils ne peuvent pas toujours argumenter ce choix.

De même, ils ne savent pas choisir les croisements adéquats qui leur permettront d'obtenir des résultats conformes à leurs prédictions. Cette difficulté du choix d'un croisement pertinent est observée surtout quand ils ont à vérifier le génotype de la F1 par l'analyse du croisement F1*F1 ou par un croisement Test-cross plus facile à réaliser et qui aboutit à des résultats faciles à interpréter.

Ceci laisse croire que les étudiants ne savent pas définir et suivre, d'une manière réfléchie, une démarche scientifique mais utilisent des astuces qui aboutissent parfois au résultat attendu ou le plus souvent à des résultats erronés.

Une autre difficulté que rencontrent les étudiants est l'obtention d'effectifs très faibles qui ne permettent pas de trancher clairement entre les hypothèses formulées.

Les étudiants restent perplexes devant cette situation alors qu'il suffit d'augmenter le nombre de jours d'incubation pour que d'avantages de pupes se métamorphosent en adultes sans toutefois entraîner un chevauchement entre la génération F2 et F3.

Ce problème est souvent dû au fait que les étudiants ne font pas attention à la température d'incubation car plus elle est faible, plus le cycle est long et vis-versa, ceci dans la limite des températures de survie de la drosophile (20°-30°).

Les résultats dépendent du bon choix des souches et du type de croisement et le respect du cycle de développement. Le logiciel génère aléatoirement des séries de résultats plus ou moins proches du modèle théorique. Donc les résultats doivent être considérés par les étudiants comme des données statistiques sur lesquels doivent être appliqués des tests de conformité avec le modèle théorique (notamment le test Khi²). Ceci permet aux étudiants de saisir que les lois de la transmission des caractères héréditaires ont été établies après une multitude de croisements (effectuées au départ sur le pois vert par Mendel) mais qui ont été validés sur d'autres modèles tels que la drosophile (Morgan). Aucun des étudiants n'a pensé à réaliser plusieurs fois le même croisement pour que les résultats soient statistiquement valables.

Les étudiants restent confus quand les résultats ne correspondent pas à leurs attentes surtout s'ils constatent l'absence d'un phénotype attendu en F₂. Ils ne lient pas cette absence à la nécessité d'augmenter les effectifs de la F₂ mais pensent que le croisement qu'ils ont choisi est inadéquat ou que le modèle prédit (hypothèse) est faux.

D'un autre côté, on note que la quasi-totalité des étudiants (88%) utilisent un symbolisme adéquat, ceci nous a paru étrange du fait que dans les séances de TD, lors de la résolution des exercices de génétique, les étudiants ne respectent pas ce symbolisme.

En ce qui concerne la démarche adoptée pour la résolution du problème, on constate que la moitié des étudiants n'arrivent pas (ou partiellement) à définir une démarche logique qu'ils doivent suivre pour résoudre le problème. La démarche attendue comporte les éléments suivants classés dans l'ordre d'avènement :

- Formulation d'une hypothèse
- Choix des souches à commander
- Choix du croisement à effectuer entre Parents de phénotypes opposés pour obtenir la génération F₁.
- Observation des phénotypes de la F₁ (Hétérozygotes)
- Choix d'une femelle F₁ pour la croiser avec un mâle bi (ou tri) récessif (test-cross) et non l'inverse car chez le mâle de la drosophile, il n'y a pas de crossing-over.
- Observation de la F₂: catégorisation des phénotypes et calcul des pourcentages.
- Comparaison avec les proportions théoriques (1/1/1/1 dans le cas de deux gènes indépendants ou la fréquence des recombinaisons est très inférieure à celle des parentaux dans le cas de la liaison). On peut recourir au test Khi² pour tester la conformité des résultats obtenus avec ceux attendus selon l'hypothèse formulée.
- Calcul des distances génétiques dans le cas de la liaison.

On note aussi chez les étudiants une confusion entre les différentes étapes techniques qu'ils doivent effectuer par le logiciel et la démarche scientifique qu'ils doivent suivre dans le but de résoudre le problème.

On constate aussi d'après les analyses des fiches des activités, que peu d'étudiants argumentent les choix faits (souches, croisements...) et ceci est d'autant plus marqué que l'activité est plus complexe (activité 4).

Le test 3 points ou trihybridisme constitue en effet une source de difficulté par rapport aux cas simples (mono et dihybridisme), ceci est constaté aussi dans les séances de TD.

4.2 RESULTATS DE LA GRILLE D'ANALYSE

Les résultats permettent de déduire que :

Les deux tiers des étudiants ont pu comprendre l'objectif de la séance de TP c'est-à-dire la détermination du mode de transmission génétique de certains caractères morphologiques chez la drosophile.

Les étudiants, quand on leur demande oralement et individuellement quelle démarche doivent-ils suivre pour résoudre le problème posé, répondent plus ou moins correctement en indiquant les principales étapes à suivre. Mais l'analyse des fiches des activités montrent le contraire c'est-à-dire que la moitié des étudiants seulement sont capables de consigner cette démarche correctement sur la fiche d'activités.

Pour le choix des croisements à faire, on constate qu'il y a concordance entre les réponses orales des étudiants sur cette question et leur réponse sur la fiche d'activités.

De même pour l'argumentation du choix des croisements, les étudiants arrivent à donner oralement en partie les arguments qui les poussent à choisir tel croisement plutôt qu'un autre mieux que sur la fiche.

Les aspects techniques liés à l'utilisation du logiciel Drososfly sont maîtrisés par la quasi-totalité des étudiants.

Pour les deux critères "Autonomie" et "difficulté de travail", on distingue une certaine correspondance puisque les étudiants qui ne trouvent pas des difficultés lors de la manipulation de Drososfly ont pu travailler d'une manière autonome durant l'activité de simulation. Par contre, les autres sollicitent constamment l'enseignant pour progresser dans l'investigation.

Dans la majorité des cas, les étudiants arrivent à définir les termes utilisés dans le TP (Test-cross, Back-cross, dominance, F1, génotype, phénotype, races pures...).

4.3 ANALYSE DES RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE

Les réponses au questionnaire nous permettent de relever les points suivants:

La majorité des étudiants trouvent l'utilisation du logiciel assez facile et qu'ils ne trouvent pas de difficulté majeure pour effectuer les différentes tâches demandées (88 % des étudiants). Ceci est corroboré par le fait que la majorité des apprenants préfèrent utiliser le logiciel d'une façon semi-directive pour la plupart du temps sauf en cas de nécessité majeure.

En ce qui concerne l'impact de l'utilisation de DROSOFLY sur l'amélioration du travail de groupe, la quasi-totalité des étudiants (82%) pensent que DROSOFLY est censé être utilisé dans un contexte de travail collectif, tandis que l'objectif de ce didacticiel est de renforcer les connaissances et les capacités individuelles des étudiants. Ceci peut être dû au fait que la majorité des étudiants sont habitués à travailler en groupe, ce qui peut parfois avoir des effets négatifs sur le développement des compétences individuelles.

La majorité des étudiants (76%) pensent que DROSOFLY ne peut être un remplaçant ou un substituant de l'expérimentation réelle et qu'il est impossible de se limiter à la simulation numérique pour effectuer des expériences en génétique, cela est également prouvé par le fait que la quasi-totalité (88%) des apprenants pensent qu'on ne peut obtenir de meilleurs résultats que dans le cas d'une combinaison de l'expérimentation réelle et de la simulation informatique. On peut expliquer ces résultats également par le fait que les étudiants sont déjà convaincus de la nécessité de l'expérimentation et de ses effets positifs sur l'amélioration des apprentissages en génétique.

Concernant les avantages de l'usage de DROSOFLY par rapport à l'expérimentation réelle, les étudiants citent les points suivants :

- DROSOFLY est bénéfique uniquement de point de vue technique, autrement dit, les avantages de DROSOFLY sont limités à l'économie du temps, de l'effort et du matériel.
- DROSOFLY a peu d'effet sur l'amélioration de leurs connaissances de base.

Dans la même logique, les étudiants pensent que s'ils envisagent l'emploi de DROSOFLY dans le futur avec leurs élèves, cela va être comme une application des lois de Mendel ou comme des exercices d'adaptation et non comme un complément de cours. Ils ne sont pas convaincus que l'utilisation de ce logiciel aura un effet sur l'amélioration des connaissances des apprenants en génétique. Ceci peut être expliqué par le fait que la majorité des étudiants ont trouvé des difficultés quand on leur demande d'utiliser ce logiciel dans une démarche d'investigation, alors ils pensent que leurs élèves seraient incapables de faire le même travail qu'eux.

La génétique est une discipline centrale de la Biologie nécessitant la maîtrise de nombreux concepts de chimie, physique, biologie et mathématiques. La combinaison de ces différents éléments conduit à l'élaboration de modèles explicatifs complexes dont l'enseignement pose un certain nombre de problèmes. La démarche d'enseignement dominante, conduit souvent à négliger certains aspects du travail historique ayant abouti à la construction de ces modèles explicatifs.

L'expérimentation tente en partie de pallier à ces lacunes en particulier en génétique mendélienne. Mais la congruence de plusieurs facteurs empêche de réaliser cette expérimentation. La simulation peut constituer une alternative à l'expérimentation.

Le logiciel Drososfly qu'on a utilisé en TP a certes forcé les étudiants à entrer dans un apprentissage actif dans lequel ils s'interrogent, cherchent comment résoudre, conçoivent les stratégies de résolution, formulent des hypothèses, expérimentent même si c'est par simulation, mais les étudiants ne saisissent pas l'importance de ces éléments dans la construction de leur savoir.

Les étudiants sont habitués à des TP se réduisant à un suivi d'un protocole sans avoir à se poser des questions sur ce travail de construction. D'un autre côté, l'utilisation des simulations modifie les rôles de l'élève (acteur) et de l'enseignant (guide facilitateur), mais le contexte dans lequel les simulations sont utilisées est aussi important, on cherche à intégrer les simulations dans le processus d'apprentissage de façon à ce qu'elles ne soient pas simplement accessoires et superflues.

L'utilisation de *Drosophy* dans une démarche d'investigation permet de présenter aux étudiants les modèles théoriques (Lois de Mendel) comme une construction intellectuelle qui constitue une réponse provisoire et partielle à un problème scientifique, réponse qu'il faudra confronter aux résultats expérimentaux. La démarche d'investigation ainsi proposée place le modèle au cœur de cette démarche, celui-ci sert de point d'appui et donne du sens au travail conduit lors des travaux pratiques (Sanchez 2008).

Les analyses des résultats de l'utilisation de la simulation intégrée dans une démarche d'investigation a permis d'identifier des difficultés relatives à la démarche scientifique et à un déficit de l'argumentation et de raisonnement logique chez les étudiants.

5 CONCLUSION

Les résultats présentés ici indiquent que l'apprentissage par l'utilisation d'un logiciel de simulation améliore la capacité des étudiants à formuler des explications qui intègrent le niveau phénotypique (un caractère) et génotypique (gène, allèle).

Ces résultats suggèrent que l'utilisation d'un environnement informatique d'apprentissage favorise la construction de nouvelles connaissances en génétique et influence donc l'acquisition par les étudiants de compétences multidimensionnelles dans ce domaine. Les résultats suggèrent que l'utilisation de tels environnements informatiques influe aussi la compréhension par les étudiants des pratiques scientifiques.

Ainsi, l'apprentissage est plus efficace lorsque les étudiants sont conscients des objectifs de leurs actes et quand ils sont mis dans un contexte qui est pertinent et significatif pour eux. Ces activités réalisées par les étudiants augmentent leur motivation et leur permettent d'acquérir de nouvelles connaissances et une occasion d'appliquer ces connaissances. Ainsi, le fait de prendre une part active dans la résolution d'un problème scientifique fournit aux étudiants un contexte d'appliquer les connaissances acquises en cours et travaux dirigés sur la génétique classique, acquérir de nouvelles connaissances et une méthodologie de résolution de problèmes basée sur le raisonnement logique et non pas sur l'apprentissage d'algorithmes de résolution des problèmes de la génétique sans compréhension du cheminement cognitif suivi.

REFERENCES

- [1] Banet, E., & Ayuso, G.E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *Int. J. Sci. Educ.*, 25(3), 373-407.
- [2] Bahar, M., Johnstone, A. H. & Sutcliffe, R. G. (1999a). Investigation of student's cognitive structures in elementary genetics through word association tests. *Journal of Biological Education*, 33(3), 134-141.
- [3] Chattopadhyay, A. (2005). Understanding of Genetic Information in Higher Secondary Students in Northeast India and the Implications for Genetics Education. *Cell Biology Education*, 4(1), 97-104.
- [4] Kindfield, A. C. H. (1994). Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. *Science Education*, 78, 255-283.
- [5] Lewis J., et Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance—do students see any relationship? *Int. J.Sci. Educ*, 22(2), 177-195.
- [6] Lewis, J., Leach, J., et Wood-Robinson, C. (2000a). Chromosomes : the missing link—young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilization. *J. Biol. Educ.* 34(4), 189-199.
- [7] Lewis, J., Leach, J., et Wood-Robinson, C. (2000b). All in the genes?—Young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), 74-79.
- [8] Lewis, J., Leach, J. et Wood-Robinson, C. (2000c). What's in a cell? Young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal of Biological Education*, 34(3), 129-132.
- [9] Longden, B. (1982). Genetics—are their inherent learning difficulties? *Journal of Biological Education*, 16, 135-140.
- [10] Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Student's cellular and molecular explanation of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34(4), 200-205.
- [11] Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in students' comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education* 35(4), 183-189.
- [12] Wood-Robinson, C. (1994). Young peoples' ideas about inheritance and evolution. *Stud. Sci. Educ*, 24, 29-47.
- [13] Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2003). Genetics reasoning with multiple external representations. *Research in Science Education*, 33, 111-135.
- [14] Johnstone A.H. & Mahmoud N.A. (1980). Isolating topics of high perceived difficulty in school biology. *Journal of Biological Education*, 14 (2), 163-166.

- [15] Agorram B., Clement P., Selmaoui S., Khzami Se., Chafik J. & Chiadli A. (2010). University students' conceptions about the concept of gene, Interest of an historical approach, *Journal of US-China education review*; Vol 7, N°2.
- [16] RICHOUX B.; SALVETAT C. & BEAUFILS D. (2002). Simulation numérique dans l'enseignement de la physique : enjeux, conditions; *Bulletin de l'Union des physiciens*; no842, pp. 497-521
- [17] BEAUFILS, D. & RICHOUX, B. (2003). Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique; *DIDASKALIA - Numéro 23*.
- [18] Coquidé, M & Le Maréchal J.F (2006). Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts; *Aster n° 43*; pp. 7-16.
- [19] CARLSEN D. & ANDRE T. (1992). Use of a microcomputer simulation and conceptual change text to overcome students' preconceptions about electric circuits. *Journal of Computer-Based Instruction*, n° 19, pp. 105-109.
- [20] RIVERS R.H. & VOCKELL E. (1987). Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, n° 24, pp. 403-415
- [21] Vialle B. (2005). L'ordinateur dans l'enseignement d'une science expérimentale: la biologie au lycée. *LA REVUE DE L'EPI*; N° 93.
- [22] Guéraud V., Pernin J.P., Cagnat J.M. & Cortés G. (1999). Environnements d'apprentissage basés sur la simulation: Propositions d'outils auteur et expérimentations. *Sciences et techniques éducatives* n°6, 95-141
- [23] DE JONG T., « Learning and instruction with computer simulations », *Education & Computing*, n° 6, 1991.
- [24] Roschelle J.M., Pea R.D., Hoadley C.M., Gordin D.N. and Means B.N. (2000). Changing How and What Children Learn in School with Computer-Based Technologies. *The Future of Children*, Vol. 10, No. 2. pp. 76-101.
- [25] Barbara C. Buckley, & col. (2004). Model-Based Teaching and Learning With BioLogicaTM: What Do They Learn? How Do They Learn? *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 13, No. 1, PP 23-43.
- [26] Wetherill, K., Midgett, C., & McCall M. (2002). Determining the impact of applet-based instructional materials on teacher knowledge of content and pedagogy, instructional planning, and student learning of fractions. Retrieved October, 12, 2004, from <http://illuminations.nctm.org/downloads/UNCWrschReport.pdf>
- [27] Sanchez E. (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre? *Education & Didactique*, vol 2 - n°2 , p. 93-118.
- [28] Drososfly (2005). Génération 5, [<http://www.generation5.fr/produits/Drososfly--313--24130--ens.php>, consulté le 10 mars 2015].
- [29] Trellu I. & Bacquelin F. (2005). Utilisation du logiciel Drososfly ; [<http://svt.ac-creteil.fr/?Fiche-mode-d-emploi-du-logiciel>, consulté le 10 mars 2015].