

# Drososfly

**Le laboratoire de génétique virtuel**



**Didacticiels  
7P Soft**

# Drososfly

## DROSOFLY

**Programme de simulation expérimentale à vocation pédagogique.**

**Objet :** Étude statistique de la transmission de caractères morphologiques héréditaires, chez la drosophile.

**Niveau d'études concerné :**

Enseignement secondaire général (lycée).

**Auteur :** Gérard Swinnen (7P Soft) - Verviers (Belgique).

**Matériel requis :** PC Pentium (ou sup.), Windows<sup>®</sup> 95 ou sup.

(C) 1993-2002 G.Swinnen & Inforef ASBL, Liège (Belgique).

Program designed with Clarion 5.5 from Softvelocity corp. All rights reserved.

**Dépôt légal :** D/1993/5599/17

Première édition de ce logiciel sous le nom de Drosolab en 1988 (SYMEA S.A., Liège)

Contact e-mail : [inforef@skynet.be](mailto:inforef@skynet.be)

<http://www.ulg.ac.be/cifen/inforef/swi>

*Le présent didacticiel est le résultat de plusieurs années de recherches et d'expérimentations menées dans différentes classes de l'enseignement secondaire. Il a déjà fait l'objet de remaniements et d'adaptations diverses en fonction des avis qui nous ont été communiqués, mais il ne peut évidemment pas prétendre à la perfection absolue. La mise au point d'un bon didacticiel est longue et difficile : c'est l'utilisation répétée avec des classes véritables qui permet d'en repérer les défauts résiduels et suggère des possibilités d'amélioration.*

*Nous nous réservons donc le droit de continuer à apporter à ce logiciel toutes les modifications que nous estimerons utiles, sans préavis.*

*En conséquence, il peut se faire que les caractéristiques du programme que vous avez acquis soient légèrement différentes de celles qui sont décrites dans la présente documentation. Les modifications les plus importantes (s'il y en a) devraient être décrites dans un petit fichier annexe intitulé **READ\_ME.TXT** ou bien **LISEZ.MOI**.*

*Le logiciel que vous avez reçu a été personnalisé à votre nom. La diffusion illicite de copies de votre version du logiciel engagerait votre responsabilité au regard de la législation concernant la protection des droits d'auteur.*

*Ni l'auteur, ni l'éditeur ne consentent aucune garantie et ne prennent aucun engagement quant aux dommages directs, indirects, spéciaux, accessoires ou incidents pouvant résulter de l'utilisation du logiciel, ou de l'impossibilité éventuelle d'utiliser le logiciel ou même sa documentation.*

*L'acquéreur ne reçoit qu'une licence d'utilisation du logiciel, lequel reste de toute façon la propriété exclusive de son auteur.*

*La copie et la redistribution de ce logiciel, sans accord écrit de l'éditeur, sont rigoureusement interdites. Toute tentative de copie illicite sera considérée comme une violation des droits d'auteur du programme, déliera l'éditeur de tout accord de service après-vente éventuellement conclu avec l'acquéreur, et pourra entraîner des poursuites judiciaires.*

## Sommaire.

### Table des matières

I. Introduction.....	6
II. Présentation du logiciel.....	7
A. Principe.....	7
B. La simulation proprement dite.....	9
C. Biologie de la drosophile.....	12
D. Technique d'élevage, manipulations.....	13
Manipulation et observation des mouches.....	13
Renseignements complémentaires concernant la simulation.....	14
III. Utilisation du logiciel.....	15
A. Installation et maintenance du logiciel.....	15
Initialisation du logiciel.....	15
Identification des utilisateurs.....	16
Menu "Préférences" (options).....	16
Emplacement du fichier de mémorisation / Installation de Drososfly en réseau.....	18
B. Fenêtre principale.....	19
C. Commande des races initiales.....	22
Sauts temporels.....	23
D. Incubateur et flacons d'élevage.....	24
Manipulation des flacons.....	24
E. Ethérisation des mouches.....	25
G. Organisation des croisements.....	26
Calendrier type pour la réalisation d'un croisement :.....	26
H. Races disponibles.....	28
I. Loupe binoculaire.....	31
J. Préparation de la nourriture.....	33

Recette pour la préparation de la nourriture :.....	33
Remplissage des flacons.....	34
K. Historique.....	34
L. Exemple de croisement.....	35
M. Carte factorielle.....	37
IV. Exploitation pédagogique du logiciel.....	39
Suggestions de croisements à effectuer.....	41
A. Vérification des lois de Mendel.....	41
1. Monohybridisme.....	41
2. Dihybridisme.....	41
3. Interaction génique.....	42
4. Polyhybridisme.....	42
B. Hérité liée au sexe / semi-dominance.....	43
C. Linkage.....	43
D. Crossing-over.....	44
E. Etablissement de cartes factorielles.....	44
F. Gènes létaux.....	45
V. Informations diverses concernant le logiciel.....	46
Programmation.....	46
Distribution du logiciel.....	47
Autres logiciels 7P Soft disponibles :.....	47

## I. Introduction

Parmi les quelques domaines d'application où les ordinateurs peuvent apporter un réel progrès pédagogique, les simulations d'expériences me semblent depuis toujours constituer l'une des démarches les plus profitables.

En effet : les professeurs qui enseignent des branches scientifiques savent bien que les méthodes pédagogiques les plus efficaces sont celles qui mobilisent au maximum l'activité de l'élève en classe, comme c'est le cas lors de séances de travaux pratiques, par exemple. C'est lorsqu'il agit que l'élève développe de véritables compétences.

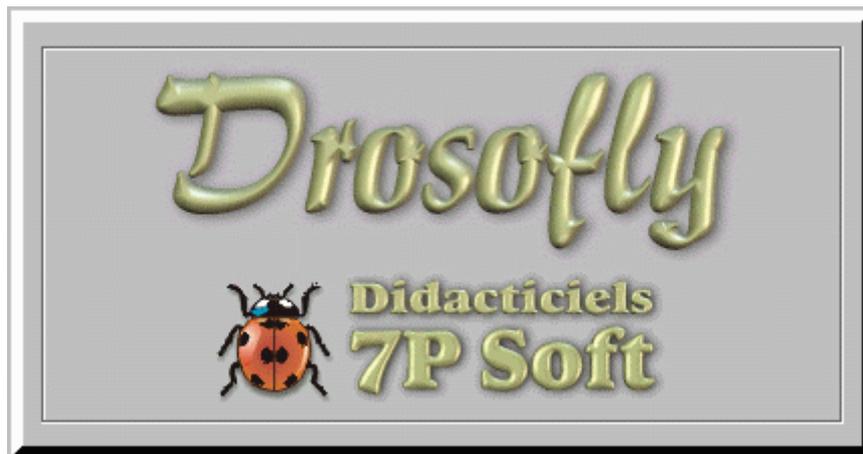
Or, l'élève qui utilise un programme de simulation d'expérience bien conçu est extrêmement actif. Il se trouve plongé dans une situation de travail assez proche de celle qu'il peut vivre en laboratoire de sciences, avec ces différences que :

- ♦ Des expériences irréalisables concrètement pour des raisons diverses (coût trop élevé, durée d'expérimentation excessive, habileté des élèves insuffisante, etc.) deviennent possibles.
- ♦ La situation expérimentale peut être simplifiée. Encore que ce point mérite d'être débattu, les opérations à effectuer sont en tous cas plus faciles et plus rapides que dans une expérience concrète.
- ♦ Ni le matériel expérimental, ni l'expérimentateur lui-même ne courent des risques en cas de fausse manœuvre.
- ♦ L'ordinateur peut guider l'élève et mémoriser le travail accompli.
- ♦ *Si la simulation est suffisamment complexe, l'étudiant dispose d'une liberté d'investigation qui ne lui est que très rarement octroyée au cours de travaux pratiques concrets. Il peut décider lui-même sa stratégie expérimentale, procéder par tâtonnements, recommencer un grand nombre de fois des tentatives similaires, en un mot effectuer une véritable recherche.*

L'ordinateur lui permet en effet de se tromper sans autre pénalisation qu'une minuscule perte de temps.

La simulation expérimentale n'est donc pas un substitut facile de l'expérimentation concrète. Elle est plutôt un complément ou un prolongement de celle-ci, avec des qualités pédagogiques qui lui sont propres.

## II. Présentation du logiciel



### A. Principe

**Drosofly** est un programme de simulation expérimentale très sophistiqué, destiné à l'apprentissage des lois statistiques de la transmission héréditaire, dans le cadre du cours de Biologie de l'Enseignement secondaire général.

Ce programme est destiné en premier lieu à compléter des travaux de laboratoire concrets, soit qu'il serve à les préparer, à meubler les inévitables temps morts, à accroître le nombre de données soumises à la réflexion des étudiants, ou même comme outil d'évaluation finale.

Il peut éventuellement aussi être utilisé en remplacement d'expériences concrètes, dans le cas où celles-ci ne seraient pas réalisables.

Il est cependant fortement conseillé au professeur de mettre en route de véritables élevages, dans toute la mesure du possible, car le contact de l'élève avec le vivant reste un objectif majeur du cours de Biologie.

## Drososfly

Il n'est pas difficile en effet de faire réaliser concrètement la plupart des croisements simulés dans **Drososfly** par des élèves de terminale. On peut mener à bien ces élevages dans de simples bocaux à confiture ou à yaourt, la préparation du milieu de culture est aisée, et l'on peut se procurer facilement les différentes souches pures de drosophiles auprès d'un service de génétique universitaire.

Ces manipulations concrètes ont une immense valeur pédagogique.

Dans cet ordre d'idées, nous pensons personnellement que la meilleure façon d'aborder la génétique à l'école consiste à fournir des drosophiles aux élèves, à leur donner toutes les indications techniques nécessaires pour réaliser des croisements, et à leur demander *in fine* de construire eux-mêmes le cours, en se s'appuyant sur les résultats de leurs expériences et de leurs recherches bibliographiques.

Il est tout à fait envisageable de leur laisser une liberté quasi totale pour la conduite des opérations, ce qui exigera d'eux un effort de réflexion extrêmement profitable, en particulier pour l'élaboration d'une stratégie expérimentale et l'organisation du travail. Cette manière de procéder présente également l'avantage d'apprendre aux étudiants à structurer par eux-mêmes les connaissances acquises, en s'aidant bien évidemment de la littérature disponible.

On peut mieux encore préciser l'exigence et les buts à atteindre, en leur fournissant des exercices types, sous la forme de batteries de Q.C.M., par exemple, et en fixant à l'avance avec eux un calendrier des interrogations. (Voir à ce sujet les logiciels **Didakit (QCM7)** et **QcmDrill** du même auteur).

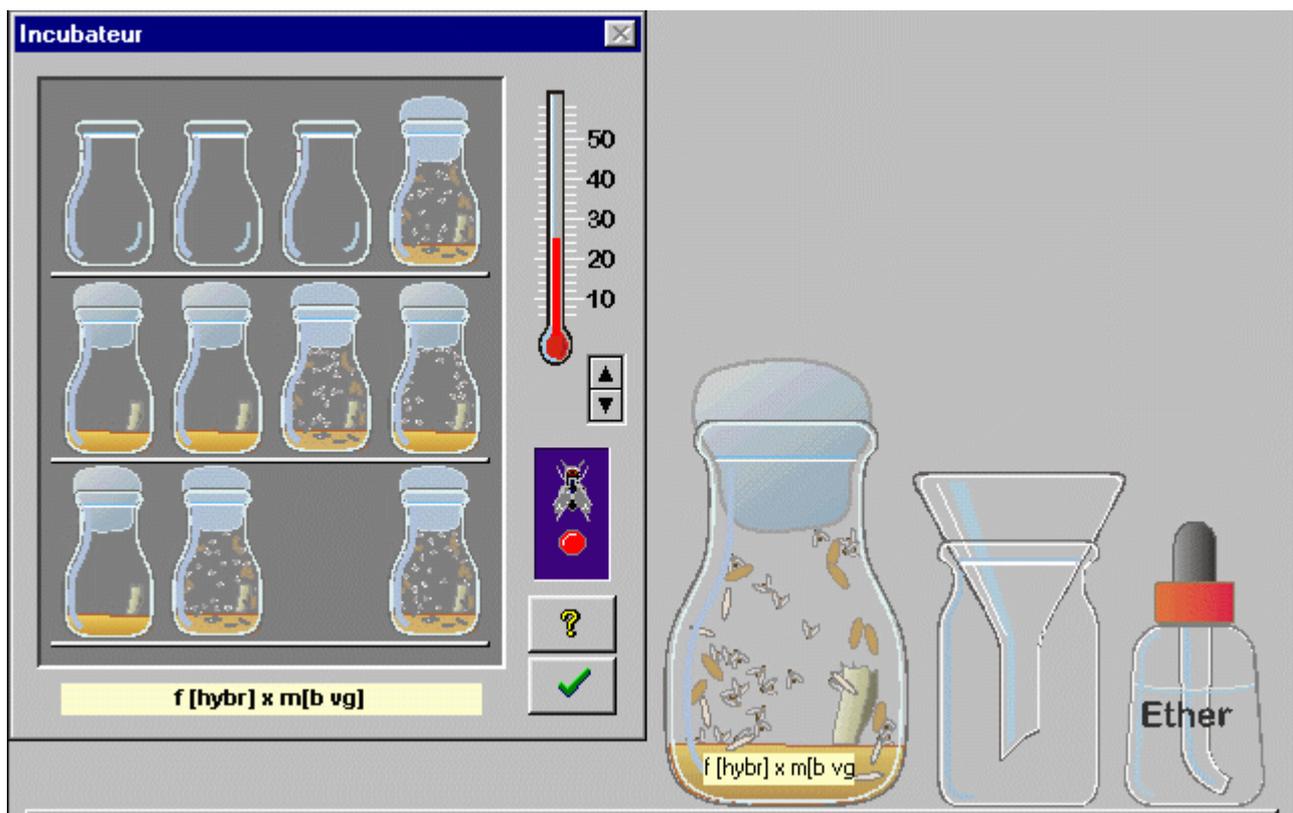
Cette méthode de travail, pour séduisante qu'elle soit, comporte cependant de nombreux temps morts. Même si le cycle reproductif de la drosophile est court (10 jours, à 25 °C), les résultats de chaque croisement se font attendre au moins trois semaines. Il faut occuper ces temps morts, et cela d'abord par la recherche bibliographique. L'idéal serait donc que les élèves puissent disposer d'une bibliothèque de classe, avec des ouvrages de référence multiples.

L'expérience montre cependant que la bibliographie à elle seule ne suffit pas à remplir les temps morts. Un programme de simulation tel que **Drososfly** prend alors ici tout son sens. Il permet aux élèves de rester constamment **actifs**, de tester la validité de leur démarche expérimentale, de comparer leurs résultats concrets avec les prévisions théoriques, et surtout de simuler de nombreux croisements supplémentaires. **Drososfly** est alors pour eux à la fois un guide, un banc d'essai, et une base de données.

Bien entendu, la simulation peut également servir de substitut à de véritables expériences, dans les classes qui ne disposent pas d'assez de temps pour que l'on organise à leur intention des séances de travaux pratiques.

## B. La simulation proprement dite

**Drososfly** permet de simuler des croisements de drosophiles (*Drosophila melanogaster* Meig. = mouche du vinaigre), en mettant son utilisateur devant une situation de travail très proche de celle de l'expérimentation réelle.



C'est ainsi que l'utilisateur du logiciel sera amené, entre autres, à :

- ◆ préparer des milieux de culture,
- ◆ commander les différentes races de mouches chez son fournisseur,
- ◆ introduire ces mouches dans ses flacons d'élevage,
- ◆ les endormir avec de l'éther pour les manipuler (On verra les mouches voler, et même s'échapper en cas de fausse manoeuvre !),
- ◆ attendre l'émergence des nouveaux adultes (imagos), etc.

## Drososfly

Il devra observer les mouches à la loupe binoculaire, apprendre à reconnaître les sexes et les différentes races, les trier, les compter, les transférer de flacon à flacon, penser à éliminer les géniteurs avant que leurs descendants ne soient apparus (de façon à ce qu'ils ne puissent se mélanger avec eux), etc.

Il pourra suivre en parallèle l'évolution de douze populations indépendantes de mouches, chacune d'entre elles pouvant compter jusqu'à 250 individus.

Dans ces populations, les mouches se reproduisent en s'accouplant avec un ou plusieurs partenaires choisis au hasard ; les plus âgées meurent (dans les flacons surpeuplés, l'âge de la retraite est d'ailleurs avancé !), d'autres naissent, et les gènes se transmettent ...

Les quatorze caractères héréditaires pris en compte peuvent s'exprimer dans un total de **plusieurs milliers de phénotypes différents !**

Les situations prévues dans le simulateur permettent de mettre en évidence :

- ◆ les lois de Mendel
- ◆ les phénomènes de dominance et de semi-dominance
- ◆ la théorie chromosomique de l'hérédité
- ◆ les phénomènes de *linkage*, de *crossing-over*
- ◆ l'hérédité du sexe, l'hérédité liée au sexe
- ◆ l'interaction génique
- ◆ etc.

Il y a même un exemple de gène létal à l'état homozygote !

Ce logiciel a donc été conçu de telle manière que l'on puisse mener à bien des expériences complexes, **qui demanderont plusieurs séances de travail successives**. Dans cette optique, **Drososfly** est pourvu d'un système de mémorisation automatique, personnalisée pour chaque utilisateur (Veuillez consulter les informations techniques concernant l'utilisation du logiciel en réseau). Chacun peut donc sans crainte arrêter son travail à tout moment, et le reprendre ensuite lors d'une séance de travail ultérieure, à l'endroit exact où il l'avait interrompu, sans perte de données.

L'utilisateur dispose en permanence d'une documentation technique très complète, sous la forme d'un système d'aide en ligne de type hypertexte incorporé au logiciel. Cette documentation comporte de nombreuses pages d'explications concernant l'élevage de la drosophile, sa biologie, les races disponibles, la préparation du milieu de culture, la méthode à suivre pour effectuer les croisements, etc.

Suivant les préférences mises en place par le professeur (voir p. 17), l'élève pourra aussi bénéficier de plusieurs niveaux d'aide de la part de l'ordinateur :

- ◆ aide pour reconnaître les phénotypes;
- ◆ aide pour totaliser les phénotypes et calculer leurs fréquences;
- ◆ aide pour visualiser les génotypes (sous forme de cartes factorielles)
- ◆ suivi de toutes les opérations effectuées (fichier d'historique)

L'utilisation de **Drososfly** ne nécessite aucun apprentissage, les démarches à effectuer étant la plupart du temps auto-documentées. De plus, huit démonstrations animées des principales manipulations sont intégrées au logiciel et accessibles à tout moment.

Le choix des croisements à réaliser pour mettre en évidence les concepts fondamentaux n'est cependant pas quelconque. S'il veut éviter d'être confronté d'emblée à des difficultés d'interprétation insurmontables, le débutant aura intérêt à suivre une certaine progression dans la complexité des phénomènes.

L'aide en ligne du logiciel fournit une série d'informations et de suggestions à ce sujet, avec la description des gènes retenus dans la simulation.

# Drosophly

## C. Biologie de la drosophile

La drosophile, mouche des fruits ou mouche du vinaigre, est un petit insecte très commun que l'on peut souvent observer à la belle saison sur les fruits mûrs. Son nom scientifique est *Drosophila melanogaster* Meig. C'est un insecte, diptère, brachycère, cycloraphe. Elle fut utilisée dès 1900 par T.H. Morgan et ses collaborateurs comme matériel biologique pour l'étude de la génétique des organismes diploïdes.

C'est en effet un organisme de choix pour ce genre de travail : Il est facile à élever et prolifique. Son cycle de développement est court (environ 10 jours à 25°C). Il faut cependant disposer d'une bonne loupe (G = 10-50x) pour pouvoir observer certains caractères morphologiques dans de bonnes conditions (L'adulte mesure environ 3 mm, ailes comprises).

### Cycle vital :

Au cours de sa vie, la drosophile passe successivement par les stades suivants :

- ♦ **Oeuf** : petit, blanc, oblong, nanti de deux filaments respiratoires.
- ♦ **Larve** (le seul stade pendant lequel l'animal grandit) : vermiforme, blanche, se nourrissant continuellement. Elle n'arrête pas de creuser des galeries dans le milieu nutritif. Au cours de sa croissance, la larve passe par trois stades successifs séparés par des mues.
- ♦ **Pupe** (stade de transformation intense, dans une sorte de cocon) : à la fin du dernier stade larvaire, la larve sort du milieu nutritif, gagne un endroit sec, s'y fixe et se métamorphose. Elle apparaît alors comme une sorte de graine brunâtre sur la paroi interne du flacon d'élevage. Ce stade est appelé pupaison et dure environ 4 jours à 25°C.
- ♦ **Imago ou adulte** (la mouche a acquis sa forme définitive ailée) : au cours de sa vie en apparence immobile à l'intérieur de la pupa, l'animal s'est transformé très profondément pour acquérir des pattes, des ailes, des yeux, etc.  
Lors de l'éclosion, l'adulte apparaît d'abord difforme et blanchâtre, mais il se pigmente et s'active rapidement. En l'espace de quelques heures, il a acquis sa taille et son aspect définitifs. S'il s'agit d'une femelle, elle devient fécondable après 8-10 heures et commence à pondre deux jours plus tard.

C'est donc seulement à ce dernier stade (l'imago) que la drosophile est capable de se reproduire.

Dans la présente simulation, vous ne manipulerez que les adultes. Les oeufs, larves et pupes ne seront pas montrés.

**Note importante :** La durée du cycle complet dépend étroitement de la température : elle est de 10 jours à 25°C. Si la température diminue, la durée du cycle s'allonge ; si la température augmente, elle se raccourcit. Il est donc fortement conseillé de thermostatiser les élevages, afin de pouvoir mettre en place un calendrier des opérations fiable.

Attention, cependant : une température excessive (>30°C) provoquera la mort des mouches !

## D. Technique d'élevage, manipulations

On élève aisément les drosophiles dans des petits flacons en verre (bocaux à yaourt, erlenmeyers, ...) d'une contenance de 200 cc environ, que l'on ferme à l'aide d'un gros tampon d'ouate. On y prépare à l'avance un milieu nutritif semi-solide qui restera collé au fond des récipients même si on retourne ceux-ci : de cette façon, les transferts d'animaux d'un flacon à l'autre seront grandement facilités (voir plus loin). Réaliser cette préparation dans un laboratoire scolaire n'est vraiment pas difficile. Il faut simplement veiller à utiliser des récipients bien propres. Le principal problème qui peut se présenter est l'envahissement du milieu par des moisissures (Penicillium). Pour l'éviter, on incorpore un fongicide dans la préparation, mais ce n'est pas suffisant. Une des meilleures précautions consiste à ensemercer largement le milieu de culture avec de la levure fraîche de boulangerie (La recette complète de la préparation est indiquée à la page 33).

## Manipulation et observation des mouches

La présente simulation ne permet de manipuler que les adultes : les oeufs, larves et pupes sont inaccessibles. Les flacons d'élevage sont conservés en permanence dans un incubateur thermostatisé. Pour transférer un flacon de l'incubateur à la paillasse, il suffit d'effectuer une opération de glisser-lâcher à l'aide de la souris (Pointer le flacon choisi, cliquer à l'aide du bouton gauche, maintenir ce bouton enfoncé et déplacer le pointeur de la souris jusqu'au rectangle gris sur la paillasse. Relâcher le bouton).

L'une des premières opérations que vous devrez effectuer consistera à commander un certain nombre de races pures chez un fournisseur spécialisé. Dès leur arrivée (elles sont livrées par colis postal), on les installe dans des flacons qui auront été préparés à cet effet.

Les mouches à manipuler devront au préalable être anesthésiées. Lorsqu'elles seront endormies, on pourra alors les observer, les compter, sélectionner certaines d'entre elles pour préparer un croisement, etc.

# Drososfly

## Renseignements complémentaires concernant la simulation.

- ◆ Les mouches ne survivent qu'un maximum d'environ 30 jours à l'état adulte. Dans un flacon surpeuplé, elles vivent moins longtemps.
- ◆ Les flacons ne peuvent contenir plus de 250 mouches à la fois : Si vous désirez des populations plus nombreuses, il faudra mener le même croisement en parallèle dans plusieurs flacons.
- ◆ Vous pouvez bénéficier d'une aide pour reconnaître les phénotypes, et aussi pour les totaliser (voir : loupe binoculaire). Il est également possible de visualiser les génotypes (cartes factorielles). Toutes ces aides ne seront cependant fonctionnelles que lorsque votre professeur les aura activées. Il ne souhaitera probablement pas vous en donner l'accès dès le début de la simulation, parce qu'il voudra certainement s'assurer d'abord que vous comprenez ce que vous voyez et ce que vous faites.
- ◆ On peut mener plusieurs croisements en parallèle, sans problème particulier. Il faudra notamment penser à effectuer des croisements inverses, par exemple, ou des croisements en retour (test-cross). Pour accélérer le fonctionnement du programme, il est cependant conseillé d'éliminer des flacons les élevages qui sont devenus inutiles.
- ◆ Par convention, l'évolution des populations présentes dans les différents élevages se produit durant la nuit. Il faut donc passer au moins une nuit pour que le programme calcule quelles modifications il doit apporter dans le contenu de chaque flacon.
- ◆ L'algorithme utilisé dans Drososfly examine ce qui peut arriver jour après jour à chaque mouche en particulier. Par exemple, si un flacon contient à un moment donné des mâles et des femelles de plusieurs races différentes, le programme supposera à chaque itération que chacune des femelles présentes dans ce même flacon a des chances égales d'être fécondée par n'importe lequel des mâles présents...  
Les différentes combinaisons de phénotypes qui en résultent peuvent alors être très nombreuses, et les populations correspondantes extrêmement mélangées (environ 8000 possibilités au total).

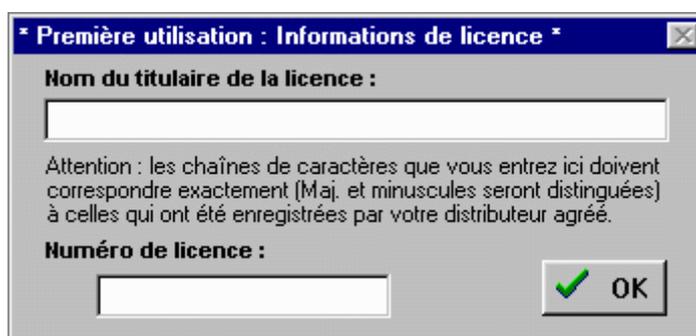
### III. Utilisation du logiciel

#### A. Installation et maintenance du logiciel

Installation : lancez l'exécution du programme drof\_ins.exe. Suivez les instructions qui apparaissent à l'écran. L'installation peut être effectuée sur un serveur réseau, dans un quelconque répertoire partagé. Il faudra simplement s'assurer de connecter un lecteur réseau sur chaque poste client, en direction de ce partage.

#### Initialisation du logiciel.

Lors de sa première utilisation, vous devez débrider le logiciel en y introduisant vos coordonnées personnelles ainsi que le numéro de licence qui vous a été attribué par votre distributeur. Veillez à introduire ces données **exactement** telles qu'elles apparaissent sur l'accord de licence qui vous a été transmis. Les majuscules, accents, espaces, etc. doivent être reproduits à l'identique.



\* Première utilisation : Informations de licence \*

Nom du titulaire de la licence :

Attention : les chaînes de caractères que vous entrez ici doivent correspondre exactement (Maj. et minuscules seront distinguées) à celles qui ont été enregistrées par votre distributeur agréé.

Numéro de licence :

Cette opération débarrasse le logiciel des limitations et messages répétitifs qui caractérisent la version de démonstration. Il ne sera pas nécessaire de réintroduire encore ces données lors des utilisations ultérieures du logiciel, sauf en cas de réinstallation sur d'autres machines.

#### **Note importante :**

*Vous pouvez librement dupliquer et diffuser le logiciel sous la forme où vous l'avez initialement reçu (c.à.d. le CDROM d'origine, ou les fichiers téléchargés depuis l'internet). Tant qu'il n'a pas été "débridé" par l'introduction de vos coordonnées et de votre numéro de licence personnel, il ne peut en effet fonctionner qu'en mode "démonstration". Par contre, il vous est strictement interdit de diffuser la version*

# Drosofly

débridée du logiciel (c.à.d. le logiciel complètement installé, dans lequel vous avez introduit vos coordonnées et votre numéro de licence personnels).

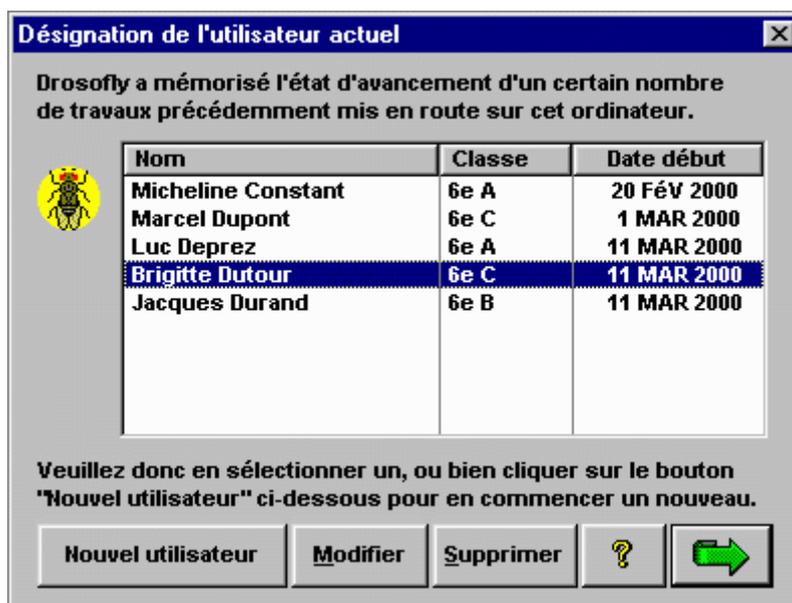
## Identification des utilisateurs

**Drosofly** est un logiciel didactique, configurable par le professeur, qui mémorise le travail effectué avec lui par les élèves.

Au lancement du programme (après le logo d'ouverture), une petite fenêtre apparaît, qui demande aux utilisateurs de s'identifier. Drosofly se sert de cette information pour mémoriser séparément les travaux effectués sur la même machine par différents utilisateurs.

A cet endroit du programme, le professeur peut accéder à une fonction cachée, en utilisant la combinaison de touches "secrète" <CTRL-P> (C.à.d. les touches CTRL et P pressées simultanément au clavier).

A la suite de cette manœuvre, des boutons supplémentaires apparaissent :



Ces boutons **Modifier** et **Supprimer** permettent au professeur de gérer le fichier de mémorisation (essentiellement effacer les données devenues obsolètes).

## Menu "Préférences" (options)

Ce menu est accessible depuis la barre de menus principale du logiciel, sous la rubrique "Fichier". Les paramètres définis dans cette fenêtre sont accessibles au professeur seulement, lequel doit savoir que l'activation de ces commandes se fait encore une fois à l'aide de la combinaison de touches "secrète" : <CTRL-P>.

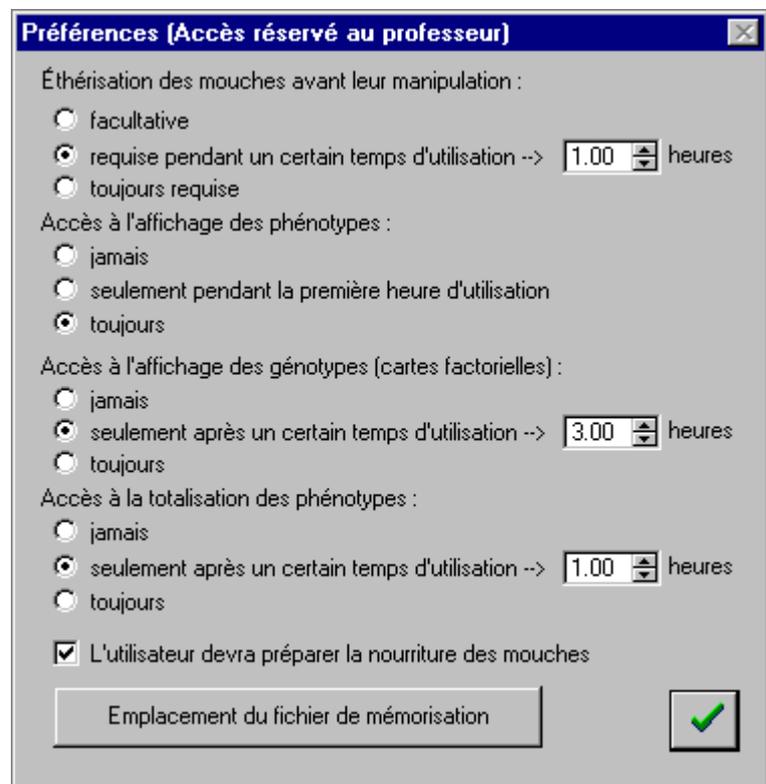
Lorsque la fenêtre est activée, le professeur peut décider certaines restrictions (pour forcer ses élèves à prendre conscience des contraintes du travail expérimental) ou au contraire octroyer certaines facilités (pour permettre un cheminement plus rapide).

Par exemple : si vous manquez de temps, et que la procédure d'éthérisation des mouches vous semble fastidieuse, vous pouvez rendre celle-ci facultative. Vous pouvez même programmer le logiciel de telle sorte que l'éthérisation soit requise en début de travail, mais qu'elle devienne ensuite facultative après que l'élève ait déjà utilisé le logiciel pendant une durée que vous estimez suffisante.

Lorsque l'éthérisation est rendue facultative, on peut observer les mouches contenues dans un flacon beaucoup plus rapidement. Il suffit en effet d'amener ce flacon sur la pailasse, puis de cliquer directement sur le bouton "loupe binoculaire".

De la même manière, vous pouvez décider si vos élèves devront ou non effectuer la préparation de la nourriture.

L'utilitaire permettant d'afficher le décompte de tous les phénotypes présents devrait être proposé assez tôt (il n'est évidemment pas très utile que vos élèves aient continuellement à refaire l'exercice de reconnaissance et de comptage des phénotypes).



En ce qui concerne l'affichage des cartes factorielles, par contre, (Voir p.37) nous estimons que cet utilitaire ne devrait être activé que tout à la fin de la démarche d'apprentissage, lorsque les élèves auront déjà essayé d'élaborer leurs propres modèles (ils pourront ainsi vérifier la validité de leurs hypothèses).

Si vous leur fournissez cet utilitaire trop tôt, vos élèves ne devront pas faire l'effort de chercher par eux-mêmes une interprétation de leur expérience, alors que cela devrait justement être l'objectif pédagogique principal d'un travail tel que celui-ci.

# Drososfly

## Emplacement du fichier de mémorisation / Installation de Drososfly en réseau.

Il est parfaitement possible d'installer Drososfly sur un serveur réseau et de le lancer ensuite à partir de n'importe quel poste de travail. Il suffit pour cela de définir sur les postes de travail un "lecteur réseau" pointant vers le partage du serveur dans lequel Drososfly aura été installé.

Des problèmes peuvent cependant surgir en cours de travail, si le fichier de mémorisation est installé lui aussi sur le serveur. Ce fichier est en effet constamment sollicité par Drososfly, qui y mémorise en permanence tous les événements importants, l'évolution de chaque mouche, etc.

Si tous les utilisateurs de Drososfly utilisent simultanément le même fichier de mémorisation, il s'ensuivra un trafic réseau intense et peut-être aussi des erreurs.

Nous conseillons donc de configurer le logiciel de manière à ce que le fichier de mémorisation soit plutôt situé sur la machine locale (le poste de travail lui-même), dans un répertoire quelconque. Il suffit pour cela d'activer le bouton "Emplacement du fichier de mémorisation" et de choisir un répertoire local. Attention : un répertoire identique doit exister sur chacun des postes de travail locaux sur lesquels on envisage d'utiliser Drososfly (Choisissez par exemple "C:\Mes documents").

Si les utilisateurs disposent chacun d'un répertoire personnel sur le serveur réseau, il est également possible de choisir celui-ci pour la sauvegarde. Cette façon de faire est celle qui nous semble la meilleure. Pour ce faire, Il vous suffit de désigner le répertoire personnel de chacun par son nom de partage générique : "homes".

(En clair, vous choisissez donc pour l'emplacement du fichier de mémorisation, un chemin tel que "\\Nom\_du\_serveur\homes").

On peut utiliser cette technique, aussi bien avec un serveur Windows qu'avec un serveur Samba fonctionnant sous le système d'exploitation Linux.

Vous pouvez bien évidemment aussi décider d'installer Drososfly sur chaque poste de travail : finalisé à l'aide de l'un des meilleurs compilateurs du moment (Le compilateur Clarion de la société SoftVelocity), ce logiciel n'occupe en effet qu'une place très modeste sur un disque dur : environ 7 Mb (en comptant l'aide, la galerie de photos et les démonstrations animées).

***Note :** Si vous souhaitez que le se fichier de mémorisation soit placé dans le répertoire par défaut (celui où le logiciel lui-même se trouve), utilisez le bouton "Annuler" dans la fenêtre de sélection du répertoire.*

## B. Fenêtre principale

**Drosofly** a démarré. Vous vous trouvez maintenant dans un laboratoire de génétique, avec à votre disposition immédiate, dans le haut de l'écran, une "barre de boutons" pour activer les fonctionnalités du logiciel :



Si la paillasse est active, les icônes ci-dessous viennent s'ajouter aux précédentes :



### Visualiser la paillasse

Ce bouton sert uniquement à ramener la paillasse à l'avant-plan, au cas où elle aurait été recouverte par d'autres fenêtres et devenue de ce fait inaccessible. (On appelle paillasse la surface de travail d'une table de laboratoire).



### Commander des drosophiles

Ce petit téléphone vous met en communication avec votre fournisseur de drosophiles. C'est donc ici qu'il vous faudra cliquer pour obtenir vos races initiales.



### Ouvrir l'incubateur

Cliquez ici pour accéder à vos flacons d'élevage.. Ces flacons devront d'abord être garnis de milieu nutritif avant qu'on ne puisse y installer des mouches.



### Activer la loupe binoculaire

Cliquer sur ce bouton permet d'observer directement les mouches d'un flacon (sans les éthériser au préalable) si le professeur a paramétré le logiciel de manière à rendre cette éthérisation facultative. Sinon, la loupe est activée automatiquement chaque fois que l'on a fini d'endormir les mouches, et ce bouton devient alors inutile.

# Drososfly



## Préparer la nourriture / Remplir les flacons

Si un flacon d'élevage est présent sur la paillasse, ce bouton permet de le garnir de milieu nutritif. Sinon il vous donne accès à la cuisine pour que vous puissiez préparer cette nourriture (Pour la recette, consultez la page 33 ).



## Effectuer un saut temporel

Par rapport aux expérimentations réelles, une simulation telle que Drososfly permet des raccourcis intéressants. Ainsi vous pourrez par exemple utiliser ce bouton pour sauter quelques jours virtuels et observer tout de suite les résultats de vos croisements.



## Consulter l'historique

Cliquez sur ce bouton pour afficher le compte-rendu des opérations effectuées, lequel pourra également être imprimé ou exporté dans un fichier texte.



## Consulter la galerie de photos

Ces excellentes macro-photographies sont dues au talent de Lucien Hanon, docteur en Zoologie. Elles sont accompagnées de commentaires explicatifs concernant la distinction des sexes et des races.



## Prendre l'éthériseur et la bouteille d'éther

Avant de pouvoir manipuler les mouches, vous devrez d'abord les endormir. Vous aurez besoin de ces deux accessoires pour y arriver. (Voir page 25)



## Éliminer les mouches évadées

Lorsque vous tardez à retourner sur l'éthériseur un flacon d'élevage ouvert, quelques mouches peuvent arriver à s'évader. Pour les éliminer, cliquez un certain nombre de fois sur ce bouton. (Une seule mouche est éliminée à chaque fois).



## Marquer un flacon d'élevage

Lorsqu'un flacon est présent sur la paillasse, on peut effectuer un certain nombre d'actions à son sujet. Il est particulièrement important de penser à y inscrire quelques indications (à votre choix). Sans cela, toutes les confusions sont possibles ! Utilisez pour ce faire le stylo qui est mis à votre disposition.



## Nettoyer un flacon d'élevage

Tout flacon amené sur la paillasse peut être vidé de son contenu et nettoyé. Actionnez simplement ce bouton "robinet".



## Consulter le système de documentation et d'aide

L'aide proposée est de type contextuelle, ce qui signifie que les pages de documentation que vous obtenez en cliquant sur le bouton seront différentes en fonction de l'endroit où vous vous trouvez dans le logiciel lui-même.

Le système de documentation comporte de nombreuses explications concernant la biologie de la drosophile, les manipulations à effectuer, l'organisation des croisements et les différentes races disponibles. Un exemple de croisement est également fourni.

Utilisez donc fréquemment cette documentation pour apprendre à reconnaître les sexes et les différents phénotypes. Elle peut aussi vous servir de référence en ce qui concerne la technique à mettre en œuvre pour réaliser des élevages concrets : même la recette de préparation du milieu nutritif est rappelée !



## Visionner les démonstrations animées

En complément de l'aide en ligne classique, vous pouvez suivre pas à pas huit démonstrations animées concernant les manipulations principales :

préparation de la nourriture, commande et réception des souches parentales, éthérisation, sélection de mâles et de femelles de races différentes, mise en route et suivi d'un croisement monohybride jusqu'à l'obtention d'un premier résultat.

# Drosophy

## C. Commande des races initiales

Toutes les souches fournies sont constituées de races pures (drosophiles homozygotes), à l'exception de souche *Lyra Dichaete* qui représente un cas tout à fait particulier (Cfr. Suggestions pour le professeur, page 41).

Centre d'élevage de drosophiles FLYFARM Inc.

Merci de faire appel à notre centre d'élevage FLYFARM pour vos commandes de souches pures. Nous pouvons vous fournir n'importe quelle combinaison des caractères ci-dessous. Les animaux choisis vous seront expédiés par courrier express dans un délai d'environ deux jours.

**Couleur du corps :**

- + (sauvage)
- b (black)
- e (ebony)

**Couleur des yeux :**

- + (sauvage)
- w (white)
- bw (brown)
- st (scarlet)
- se (sepia)

**Soies thoraciques :**

- + (sauvage)
- f (forked)

**Forme des yeux :**

- + (sauvage)
- B (Bar)
- ey (eyeless)

**Forme des ailes :**

- + (sauvage)
- Ly (Lyra)
- ct (cut)
- m (miniature)
- vg (vestigial)

**Disposition des ailes :**

- + (sauvage)
- D (Dichaete)

**Race en cours de sélection :**

Phénotype standardisé : Ly D

Ajouter à la commande

Annuler

Races en commande :

+ b vg w m f

Enregistrer la commande, quitter

La plupart des croisements "classiques" se font entre la race [sauvage] et une race "mutante" qui diffère de la race sauvage par un ou plusieurs caractères.

La race [sauvage] est celle qui vous est proposée par défaut. Pour la sélectionner, il vous suffit donc de cliquer directement sur le bouton "Ajouter à la commande".

Pour sélectionner une autre race, vous choisissez un ou plusieurs caractères morphologiques mutants dans les options qui vous sont proposées, puis vous cliquez à nouveau sur le bouton "Ajouter à la commande". Le phénotype correspondant à votre sélection est en permanence reconstitué sous vos yeux.

Il vous est fortement conseillé de commencer vos expérimentations en choisissant d'abord des croisements simples, qui ne fassent intervenir qu'un seul caractère héréditaire à la fois (croisements monohybrides). Vous pouvez par exemple commencer par un croisement des races [sauvage] et [ebony]

Après chaque utilisation du bouton "Ajouter à la commande", les options par défaut sont réinitialisées. (→ race [sauvage]).

Les phénotypes symboliques des races sélectionnées s'inscrivent dans la liste "Races en commande". Vous pouvez en choisir jusqu'à 5 au maximum.

Si vous vous êtes trompé, vous pouvez recommencer à tout moment en utilisant le bouton d'annulation.

Lorsque vos choix sont bien arrêtés, cliquez sur le bouton "Enregistrer la commande" pour que celle-ci soit effective. Le système vous avertit que les mouches commandées vous seront fournies après un délai de livraison de deux jours.

Il vous faudra donc effectuer un saut temporel avant de recevoir vos drosophiles. N'oubliez pas qu'il vous faudra préparer des flacons d'élevage pour les accueillir. (Voir aussi : préparation de la nourriture, page 33).

## Sauts temporels

Le bouton "calendrier" met en marche une machine à voyager dans le temps. Dans le micro-monde virtuel géré par **Drososfly**, il est en effet possible d'accélérer ou de ralentir les événements (par rapport à ce qui se passe dans le monde réel).

La date indiquée sur ce calendrier est une **date virtuelle** : c'est la date que vous êtes censé avoir atteinte au cours de vos expériences.

En cliquant sur les boutons du panneau "saut temporel", vous pouvez programmer votre transfert immédiat vers une date ultérieure. (Vous pouvez seulement avancer dans le temps. Revenir en arrière n'est pas possible).

Cliquez plusieurs fois sur le bouton marqué d'une flèche : les dates défilent sur le calendrier. Si vous allez trop loin, cliquez sur "Annuler" pour recommencer. Lorsque la date affichée vous convient, cliquez sur "Appliquer".

Patiencez quelques instants pendant que le saut temporel s'effectue : Drososfly doit en effet calculer ce qui se passe pendant ce temps dans chacun de vos flacons d'élevage : des mouches vont s'accoupler et pondre, d'autres vont mourir, les larves vont grandir et se métamorphoser...

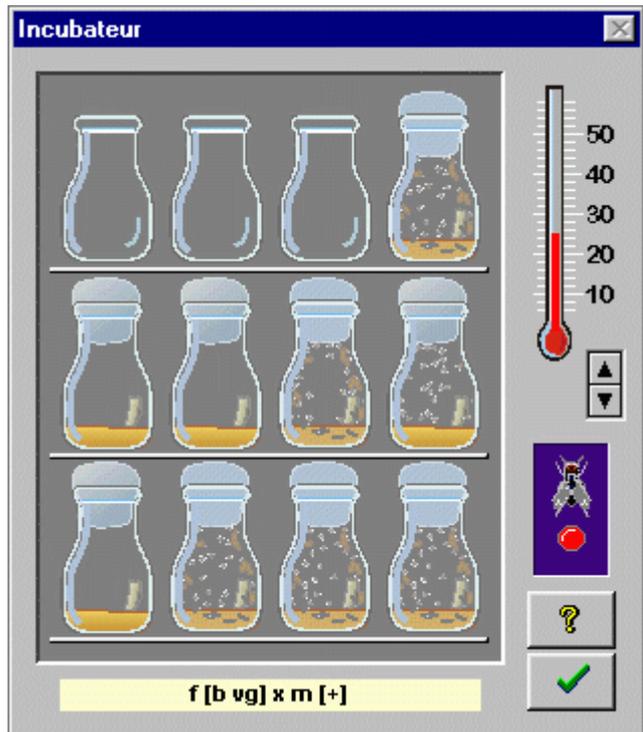
A l'issue du saut temporel, vous pourrez observer les changements survenus dans chaque flacon, et obtenir ainsi très rapidement les résultats de vos expériences (Rappelons ici que le cycle de vie de *Drosophila melanogaster* est de 10 jours à 25°C : la simulation permet de réduire ce temps à quelques secondes, ce qui en fait tout l'intérêt).

# Drosophly

## D. Incubateur et flacons d'élevage

Tout au long de votre travail, les flacons d'élevage seront conservés dans un incubateur thermostaté. Il faut savoir en effet que le métabolisme des mouches (qui sont des animaux dépourvus d'un système de régulation de leur température interne) est fortement influencé par la température. Il est donc indispensable de maintenir vos flacons d'élevage à une température bien déterminée (en général, on les maintient à 25°C) pour que les cycles biologiques restent prévisibles.

(La durée du cycle de vie de *Drosophila melanogaster* est de 10 jours à 25°C. Elles s'allongera fortement si la température diminue).



Lors de votre prise en charge du logiciel, tous les flacons sont vides. Ils se rempliront les uns après les autres, en fonction des opérations effectuées. Vous devrez les garnir de milieu nutritif avant d'y installer les mouches.

### Manipulation des flacons

Vous pouvez retirer n'importe quel flacon de l'incubateur, en effectuant une opération de "glisser-lâcher" à l'aide de votre souris :

Amenez le pointeur de votre souris sur le flacon que vous voulez transférer. Cliquez à l'aide du bouton gauche, et maintenez ce bouton enfoncé pendant que vous "tirez" le pointeur de la souris jusqu'au cadre rectangulaire dessiné en gris sombre sur la paillasse. Lorsque le pointeur prend l'apparence d'une flèche dirigée vers le bas, relâchez le bouton de la souris : le flacon est transféré. Il apparaît alors agrandi, au centre de l'écran, avec son contenu éventuel.

S'il contient déjà des mouches, par exemple, on les voit voler à l'intérieur. Si l'on enlève alors le bouchon (ce qui se fait en "cliquant" dessus à l'aide de la souris) les mouches peuvent s'échapper et se promener au hasard sur tout l'écran !

L'incubateur est muni d'un thermostat, que l'on peut régler en cliquant sur ses boutons de contrôle. Comme déjà signalé plus haut, un réglage sur 25°C constitue certainement l'idéal.

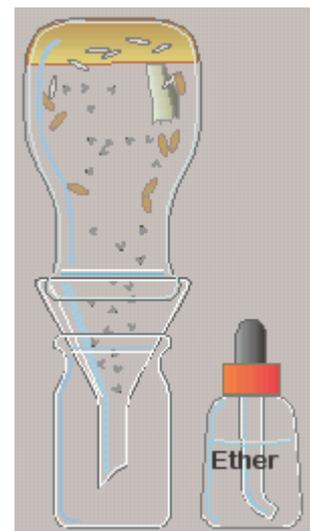
## E. Ethérisation des mouches

En principe, il vous devez toujours endormir les mouches avant de pouvoir les observer. Votre instructeur peut cependant configurer le logiciel pour que ce ne soit plus indispensable (Cfr : Préférences, page 17).

Pour anesthésier les mouches, on sature de vapeurs d'éther l'atmosphère d'un petit récipient sur lequel on place ensuite un entonnoir. Le flacon contenant les mouches est alors retourné rapidement sur l'entonnoir, et le tout est secoué doucement : les mouches tombent dans le récipient inférieur et s'endorment. On peut alors les trier en vue d'un transfert, les compter, etc.

### Procédure :

- ◆ Cliquer sur les boutons  et  . Le premier fait apparaître le flacon éthériseur avec son entonnoir. Le second fait apparaître une petite bouteille compte-gouttes contenant de l'éther.
- ◆ Cliquer sur le bouchon de la bouteille compte-gouttes. La bouteille s'ouvre, et le compte-gouttes proprement dit se positionne au-dessus du flacon. Cliquer sur la poire du compte-gouttes pour faire tomber une ou deux gouttes d'éther. Il ne faut pas en mettre davantage, sous peine de faire périr les mouches ! En effet, l'éther endort les mouches quand elles en respirent sous forme gazeuse, mais il les tue si elles entrent en contact avec lui sous sa forme liquide.
- ◆ Cliquer à nouveau sur la bouteille d'éther, pour la refermer.
- ◆ Cliquer sur l'entonnoir, pour le mettre en place sur le flacon éthériseur.
- ◆ Si ce n'est pas déjà fait, transférer le flacon d'élevage (celui dont on veut examiner les mouches) sur la pailleasse.
- ◆ Cliquer sur le bouchon d'ouate du flacon d'élevage pour provoquer son ouverture. Attention : à partir de ce moment des mouches peuvent s'enfuir !
- ◆ Cliquer sur le corps du flacon d'élevage pour provoquer son retournement sur l'entonnoir de l'éthériseur.
- ◆ Attendre que les mouches tombent et s'endorment. On peut alors les observer à la loupe binoculaire et les manipuler.



# Drosophly

## G. Organisation des croisements

Pour réaliser un croisement de drosophiles, il suffit d'installer quelques mâles d'une race et quelques femelles d'une autre race, dans un même flacon d'élevage nouvellement préparé. Ces géniteurs primordiaux seront désignés dans la terminologie classique par le symbole **P** (pour "parents"). Après trois ou quatre jours, il faut les retirer du flacon, de manière à ne pas les confondre avec leurs descendants lorsque ceux-ci seront apparus.

La première génération fille qui apparaît sera désignée par le symbole **F1**.

Si on laisse les individus de la génération **F1** s'interféconder et se reproduire, on obtiendra après quelque temps une deuxième génération, désignée **F2**. Mais avant cela, et comme on l'a fait pour les parents, il est nécessaire d'écarter ou d'éliminer les individus **F1**, 4 ou 5 jours après leur apparition, afin d'éviter qu'ils ne se mélangent avec leurs propres descendants **F2**.

Dans la plupart des cas, il est nécessaire d'étudier le croisement dans les deux sens.

( C.à.d. croiser des mâles de race [A] avec des femelles de race [B] , mais aussi des mâles de race [B] avec des femelles de race [A] : le résultat peut être très différent ).

A partir de la première génération (**F1**), il se peut aussi que l'on souhaite réaliser un croisement en retour ou **test-cross** (test de pureté des gamètes). Ce test sert à déterminer si un individu qui présente un phénotype dominant est homozygote ou hybride. Pour réaliser un **test-cross**, on croise l'individu dont on voudrait connaître le génotype, avec un partenaire homozygote dont le génotype ne comporte que des allèles récessifs.

**Exemple :** Lors d'un croisement monohybride classique, les individus obtenus en **F1** sont tous semblables entre eux et semblables au parent porteur du caractère dominant, mais en fait ce sont des hybrides. Pour prouver que ces individus possèdent aussi dans leur génotype l'autre caractère, mais à l'état "caché", on croise l'un d'entre eux avec son parent homozygote porteur du caractère récessif. Le résultat obtenu (50% d'individus de chacun des deux phénotypes) est bien l'image du génotype hybride testé.

### Calendrier type pour la réalisation d'un croisement :

- ◆ Jour 0 : mise en place des géniteurs
- ◆ Jour 4 : retrait des géniteurs
- ◆ Jour 10 : apparition des premiers imagos F1
- ◆ Jour 16 : observation et retrait de tous les imagos F1
- ◆ Jour 20 : apparition des premiers imagos F2
- ◆ Jour 25 : observation des imagos F2

## Remarque importante :

Lors d'expériences réelles, il est indispensable que les femelles utilisées pour les croisements soient vierges, car une femelle une fois saillie fait provision de sperme dans une spermathèque, et peut donc - bien longtemps après l'accouplement - continuer à pondre des œufs qu'elle féconde elle-même à l'aide des spermatozoïdes qu'elle a en réserve, et qui proviennent donc toujours du même père. Ceci fausserait inmanquablement les résultats d'un croisement réalisé ensuite avec des mâles d'autres races.

Si vous effectuez des croisements réels, il vous faut donc avant toute autre chose isoler des femelles vierges pour chacune des races utilisées. La procédure est simple mais un peu contraignante : vous installez chaque race dans un flacon d'élevage, et vous attendez la pupaison (voir : Biologie de la drosophile, p.12). Lorsque celle-ci a commencé, vous éliminez tous les imagos présents et vous attendez environ 8 heures. Après ce laps de temps, vous examinez le contenu du flacon. S'il ne s'y trouve toujours que des larves et des pupes, vous attendez de nouveau 8 heures, et ainsi de suite. Si des imagos sont apparus, ils sont nécessairement éclos depuis moins de 8 heures (voir la galerie de photos) et n'ont pas encore eu le temps de s'accoupler. Séparez alors les mâles et les femelles (lesquelles sont donc vierges) dans des flacons distincts. Attendez à nouveau 8 heures, et ainsi de suite, jusqu'à ce que vous disposiez d'animaux en suffisance pour les croisements envisagés.

Veillez consulter votre professeur pour des détails complémentaires concernant le travail en laboratoire.

## **Dans la présente simulation, les choses se présentent cependant de manière plus simple :**

Toute femelle transférée d'un flacon dans un autre est considérée par le logiciel comme étant vierge au moment de son transfert, même si elle provient d'un flacon surpeuplé de jeunes mâles vigoureux. Vous ne devez donc pas procéder à l'isolement des femelles fraîchement écloses comme nous venons de le décrire ci-dessus.

# Drosophy

## H. Races disponibles

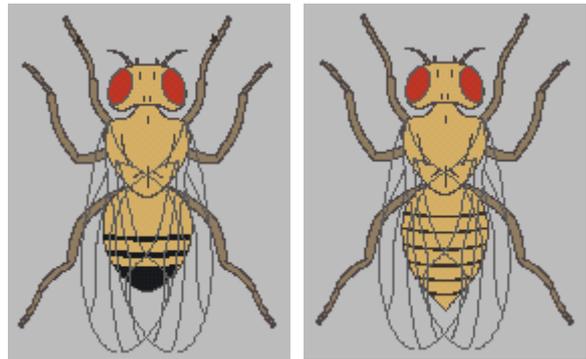
### Race "sauvage" [ + ]

On appelle ainsi la race de référence.

C'est la drosophile telle qu'on peut la rencontrer dans la nature, avec ses longues ailes, son corps de couleur crème, et ses gros yeux de couleur rouge brique.

#### Distinction des sexes :

Le mâle se distingue aisément de la femelle par son abdomen plus court, plus arrondi, et noir ; ses pattes antérieures portent chacune une petite brosse minuscule appelée peigne sexuel (Veuillez consulter la galerie de photos incluse dans le logiciel pour en savoir davantage). Les deux illustrations ci-contre représentent : à gauche un mâle, et à droite une femelle.



### Autres races = mutants

Les caractères que nous avons mentionnés ci-dessus (ailes longues, corps beige, yeux rouges ...) sont par convention désignés dans nos textes comme étant les caractères de référence ou caractères [*sauvages*].

Les autres races que nous allons décrire ci-après sont en effet considérées chacune comme des mutants, c.à.d. comme des descendants de la race sauvage dont le patrimoine héréditaire a subi une modification plus ou moins profonde. C'est par un accident survenant dans le processus de reproduction cellulaire que ces races mutantes apparaissent. Le phénomène se produit spontanément dans la nature, mais il est plutôt rare. On peut en augmenter la probabilité par différents procédés (irradiation, action de substances chimiques, ...), et des laboratoires spécialisés arrivent donc ainsi à "produire" des races de drosophiles modifiées, qui sont mises ensuite à la dispositions des chercheurs en génétique. Vous pouvez vous-même vous procurer les races mutantes décrites ci-après en vous adressant au service de génétique d'une université.

La plupart des caractères sauvages sont dominants (sauf vis-à-vis des caractères *Bar*, *Lyra* et *Dichaete* décrits plus loin). On les désigne tous par le même symbole [+].

#### Remarque :

*Pour visualiser les caractères ci-après, vous pourrez utilement faire appel à la fonction "commande de souches pures" dans le logiciel. Toutes les combinaisons de caractères vous y sont montrées en fonction des sélections que vous faites.*

## "white" [ w ]

Cette race se caractérise par l'absence complète de pigments oculaires. Les yeux sont donc entièrement blancs, alors que ceux de la race sauvage ont une couleur rouge brique.

## "brown" et "scarlet" [ bw ] & [ st ]

Les yeux de ces mouches sont respectivement **brun clair** et **rouge vif**

Cette coloration résulte en fait de l'absence de l'un des deux pigments qui sont normalement présents dans l'oeil [*sauvage*] (un pigment rouge et un pigment brun) :

Le mutant *brown* ne possède pas le pigment rouge.

Le mutant *scarlet* ne possède pas le pigment brun.

*Note : Un mutant qui présente à la fois les caractères brown et scarlet devra donc avoir les yeux blancs (absence des deux pigments).*

## "sepia" [ se ]

Cette race possède des yeux bruns très foncés (presque noirs). *Sepia* est le nom latin de la seiche, animal marin produisant une encre utilisée jadis comme matière colorante (couleur sépia).

## "Bar" [ B ]

Les yeux de ce mutant apparaissent comme une "barre" mince, suite à une réduction du nombre d'ocelles (les "facettes" de l'oeil) :

L'oeil [*sauvage*] comporte environ 760 facettes.

L'oeil [*Bar*] comporte environ 80 facettes.

Le caractère *Bar* est **semi-dominant**. Les hybrides résultant du croisement de Bar avec la race sauvage ( Hybrides [**B** +] ont dans leurs yeux un nombre de facettes intermédiaire entre celui des types **B** et + :

L'oeil [*Semi-Bar*] comporte environ 350 facettes.

## Drosophly

### "black" et "ebony" [ b ] & [ e ]

Le corps de ces mutants présente une couleur foncée ("black" = "noir", "ebony" = "ébène", nom d'un bois de couleur sombre).

Le phénotype de ces deux mutants est donc similaire, bien qu'il s'agisse de gènes différents qui ont des caractéristiques génétiques différentes.

### "miniature" [ m ]

Les ailes de cette race sont raccourcies. (Elles ne dépassent pas l'extrémité de l'abdomen). Cette race est cependant toujours capable de voler.

### "vestigial" [ vg ]

Les ailes sont réduites à l'état de moignons. Cette race est incapable de voler.

### "cut" [ ct ]

Ce mutant présente des ailes relativement courtes, avec une découpe irrégulière.

### "Lyra" [ Ly ]

L'aile de cette race est plus étroite que la normale, avec une découpe particulière qui fait que la disposition des ailes sur le dos, au repos, évoque un peu la forme d'une lyre. Ce caractère est **dominant**, et **léthal** à l'état homozygote (**Il ne peut donc pas exister de race pure Lyra**).

### "Dichaete" [ D ]

Cette race garde les ailes écartées au repos. Ce caractère est **dominant**, et **léthal** à l'état homozygote (**Il ne peut donc pas exister de race pure Dichaete**).

### "forked" [ f ]

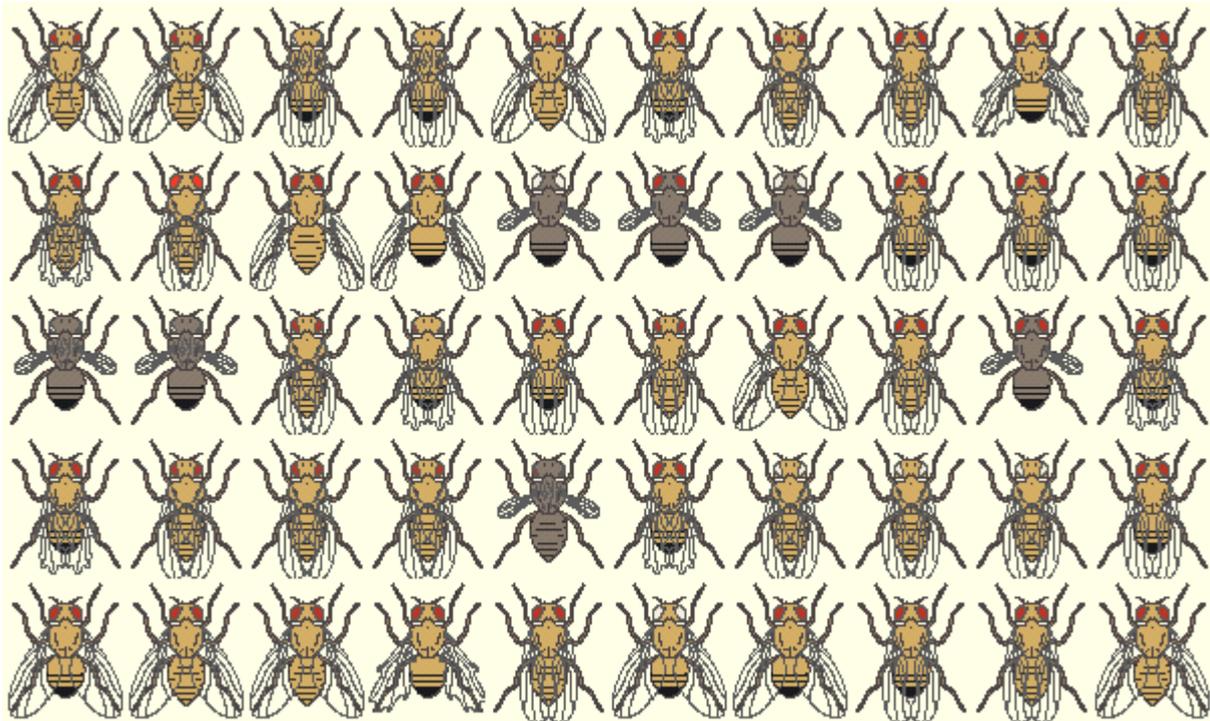
Les soies thoraciques de cette race apparaissent grosses, tire-bouchonnées et fourchues à l'extrémité.

## I. Loupe binoculaire

La loupe binoculaire permet d'observer les insectes après qu'on les ait endormis.

L'utilisation de la loupe est indispensable pour :

- ◆ sélectionner certains individus (mâles, par ex.) en vue d'un croisement
- ◆ éliminer des individus encombrants (pour ne garder que les femelles, par exemple)
- ◆ observer les résultats d'un croisement.



Suivant les options choisies par votre instructeur, il se peut que le bouton "loupe binoculaire" ne soit pas actif en permanence, parce qu'en principe, vous devez d'abord endormir les mouches avant de pouvoir les observer. Pour vous faire gagner du temps, votre instructeur peut cependant configurer le logiciel de telle manière qu'il suffise de cliquer sur ce bouton pour faire apparaître les mouches captives dans le flacon "actif" (c.à.d. celui que vous avez amené dans la zone de travail, sur la pailasse).

Lorsque la loupe fonctionne, vous obtenez d'abord une vue d'ensemble de toutes les mouches anesthésiées (s'il y en a un grand nombre, elles sont réparties par groupes de 50 sur plusieurs "pages").

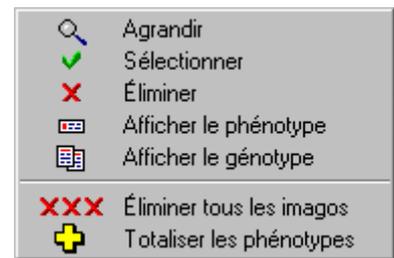
Cliquez sur une mouche quelconque : un menu "pop-up" apparaît.

En cliquant sur l'une ou l'autre des options de ce menu, vous pouvez alors effectuer l'opération indiquée à propos de cette mouche (ici encore, il se peut que certaines commandes soient inactives, en fonction des options choisies par votre instructeur).

# Drososfly

Si vous en avez l'autorisation, vous pouvez donc :

- ♦ obtenir une image agrandie de la mouche pointée
- ♦ la sélectionner (en préparation d'un croisement)
- ♦ l'éliminer
- ♦ afficher son phénotype symbolique
- ♦ afficher son génotype (ou plus précisément une carte factorielle indiquant les gènes présents ainsi que leur emplacement le long des chromosomes)



Deux commandes supplémentaires concernent l'ensemble des mouches présentes. Vous pouvez en effet :

- ♦ éliminer tous les imagos (c.à.d. toutes les mouches adultes) présents dans le flacon
- ♦ afficher un tableau avec le décompte de tous les phénotypes présents.

Cette dernière commande vous sera fort utile pour analyser les résultats de vos expériences.

Les individus sélectionnés sont placés dans un petit flacon intermédiaire, en attendant leur transfert dans le flacon d'élevage de votre choix (Voir aussi : Procédure à suivre pour réaliser un croisement, p.35).

Cochez la case "Mémoriser les observations", en bas de la fenêtre, si vous souhaitez que la composition de la population observée soit mémorisée dans le fichier historique lors de la fermeture de cette fenêtre. Vous pourrez ainsi aisément retrouver plus tard un compte-rendu fidèle de vos observations. Cette fonction n'est cependant pas disponible si votre instructeur n'a pas activé pour vous le comptage automatique des phénotypes.

## J. Préparation de la nourriture

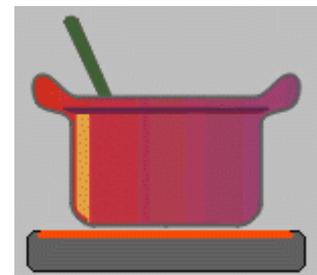
Dans leur milieu naturel, les drosophiles trouvent leur pitance sur les fruits en décomposition. Ce sont essentiellement les larves qui doivent disposer d'une nourriture abondante et appropriée, car c'est le seul stade de leur vie durant lequel ces animaux grandissent. Une fois arrivés à l'état adulte, en effet, les insectes ont leur corps complètement enfermé dans une carapace externe rigide qui empêche toute croissance ultérieure.

Les larves de drosophiles se nourrissent de levures, organismes microscopiques apparentés aux champignons, qui se développent elles-mêmes aux dépens de divers jus sucrés. La nourriture que vous devez préparer sera donc en fait surtout un milieu de culture permettant la croissance de ces levures, avec quelques additifs pour limiter l'apparition d'autres micro-organismes concurrents.

Les drosophiles adultes se nourrissent peu. Ce sont surtout les femelles qui ont de gros besoins énergétiques pour préparer leurs œufs. Il est cependant essentiel que les mouches adultes puissent boire, sinon elles meurent très rapidement par déshydratation. On ne peut donc pas conserver des drosophiles dans un simple flacon vide. Il faut toujours prévoir au moins un petit morceau de fruit, par exemple, pour que les animaux puissent venir y boire.

### Recette pour la préparation de la nourriture :

- ◆ Dans 500 g d'eau distillée (ou déminéralisée), délayer 56 g de semoule de maïs, 38 g de sucre, 3 g de levure séchée (en poudre), et 4 g d'Agar-agar.
- ◆ Porter ce mélange à l'ébullition, et maintenir l'ébullition pendant au moins 10 minutes.
- ◆ Ajouter alors rapidement 2,5 g d'alcool éthylique (ou 6 g d'eau de vie à 40°), 2,5 ml d'acide acétique (ou 25 g de vinaigre ordinaire), et une pincée (0,5 g) de Nipagine. Ce dernier produit est un fongicide, utilisé ici pour réduire le risque d'envahissement par les moisissures (son nom technique est : parahydroxybenzoate d'éthyle).
- ◆ Si vous voulez utiliser cette recette dans un laboratoire réel, veillez à couler la préparation dans les flacons destinés à l'élevage avant qu'elle ne refroidisse, sur une épaisseur de 2 à 3 cm.
- ◆ Après refroidissement complet, vous onensemencerez largement chaque flacon, en recouvrant toute la surface du milieu nutritif à l'aide d'une suspension dense de levure fraîche de boulangerie délayée dans un peu d'eau.



## Drososfly

Dans la simulation, les choses sont un peu plus simples. La fenêtre qui apparaît comporte tous les éléments nécessaires pour que vous puissiez tester la recette proposée ci-dessus. Vous devez appliquer cette recette correctement pour pouvoir ensuite remplir les flacons comme indiqué ci-après.

### Remplissage des flacons

Il s'agit d'une opération extrêmement simple : vous amenez les flacons vides l'un après l'autre sur la paillasse (par glisser-lâcher au départ de l'incubateur), et puis vous cliquez sur le bouton  pour y transférer le milieu nutritif que vous avez préparé au préalable. Les flacons se remplissent automatiquement, et ils se ferment d'un gros tampon d'ouate (lequel permet une aération convenable).

Préparez ainsi un certain nombre de flacons. Il vous en faudra un pour chacune des races pures de drosophiles que vous désirerez conserver, et vraisemblablement plusieurs pour chacune de vos expériences d'hybridation (croisement direct, croisement inverse, test-cross ...).

## K. Historique

**Drososfly** mémorise les opérations effectuées par son utilisateur ainsi que les principaux événements survenus en cours de simulation. La fonction "historique" que vous pouvez activer à l'aide de ce bouton en affichera un compte-rendu explicite.

Votre instructeur ou vous-même pourrez donc ainsi aisément analyser les expériences que vous avez mises en route (et dont vous avez peut-être oublié les paramètres parce que vos notes manuscrites sont incomplètes).

Si vos résultats expérimentaux vous semblent aberrants, analysez soigneusement ce compte-rendu pour y détecter et corriger les éventuelles erreurs de manipulation.

*Note : Le compte-rendu peut également être imprimé (une pré-visualisation de l'imprimé est proposée), ou exporté dans un fichier texte de votre choix.*

## L. Exemple de croisement

Cet exemple détaille la procédure à suivre pour réaliser une expérience de croisement simple à l'aide de Drosfly. Veuillez aussi consulter les directives générales pour l'organisation des croisements.

Supposons que vous souhaitiez réaliser le croisement de mouches mâles de la race [*sepia*], avec des mouches femelles de la race [*sauvage*]. (Description symbolique : mâles [se] x femelles [+])

- ◆ Commencez par préparer au moins trois flacons d'élevage, en les garnissant de milieu nutritif. Il vous faut deux flacons pour réceptionner les mouches des deux races pures initiales, et un troisième pour effectuer le croisement proprement dit. Vous devez donc d'abord effectuer la préparation du milieu, puis couler celui-ci dans les flacons.
- ◆ Commandez les deux races pures . Le petit téléphone symbolise le fait que si vous voulez réaliser des expériences véritables, vous pourrez effectivement commander des souches pures de drosophiles (auprès d'un service de génétique universitaire, par exemple), et ces souches vous seront expédiées par simple colis postal.
- ◆ Sautez deux jours, en utilisant le bouton calendrier . Un message vous avertit de l'arrivée des mouches. Dès leur réception, installez ces mouches homozygotes dans leurs flacons respectifs (chaque race dans un flacon différent). Chaque flacon d'élevage est transféré de l'incubateur à la paillasse par glisser-lâcher. On y transfère la souche choisie, également par glisser-lâcher. Prenez bien soin de marquer chacun des flacons d'un petit texte explicatif, afin de pouvoir les reconnaître aisément par après (bouton "stylo").
- ◆ Amenez le flacon contenant les mouches [*sepia*] sur la paillasse. Ethérisez ces mouches. Si l'éthérisation s'est déroulée correctement, la fonction loupe binoculaire est activée automatiquement. Peut-être pourrez-vous aussi directement activer cette fonction à l'aide du bouton correspondant.
- ◆ Sous la loupe, sélectionnez quelques mâles. Quand vous quittez la fonction "loupe binoculaire", un message du système vous informe de ce que des mouches sont en attente de transfert dans une petite boîte. Ce sont vos mâles [*sepia*]. Pointez le flacon choisi pour le croisement : les mâles [*sepia*] sélectionnés y sont transférés.
- ◆ Ethérisez à présent les mouches [*sauvages*]. Sélectionnez quelques femelles. Transférez ces femelles dans le flacon qui contient déjà les mâles [*sepia*]. N'oubliez pas de marquer le flacon, et vérifiez le réglage de température de l'incubateur : les indications qui suivent correspondent à une température d'élevage de 25°C.

## Drosophly

- ◆ Sautez quatre ou cinq jours. Éliminez tous les imagos (les adultes) présents dans le flacon : ils auront eu largement le temps de s'accoupler et de pondre, et vous ne pouvez pas les laisser dans le flacon jusqu'à l'émergence de la génération suivante, sinon vous ne disposerez plus d'aucun moyen pour distinguer les parents de leur progéniture.
- ◆ Sautez encore quelques jours. À partir du 10<sup>e</sup> jour suivant la mise en place des géniteurs dans le flacon, les premiers individus de première génération (F1) apparaissent. D'autres continueront à apparaître encore pendant quatre ou cinq jours. Observez-les, puis éliminez-les.
- ◆ Sautez encore deux jours. Vérifiez le contenu du flacon : il ne devrait pas contenir de nouveaux imagos, puisque la F1 a été entièrement éliminée, et qu'il est encore trop tôt pour l'émergence de la génération F2.
- ◆ Sautez encore quelques jours. Les premiers imagos de la génération F2 devraient commencer à apparaître à partir du 20<sup>e</sup> jour. Éthérisez-les et observez les soigneusement. C'est en général cette seconde génération F2 qui est la plus intéressante à analyser. Comptez tous les phénotypes présents, et n'oubliez pas de noter vos observations !

## M. Carte factorielle

Sous certaines conditions (définies par le professeur), l'utilisateur de Drosophy peut visualiser l'ensemble des gènes d'une drosophile en cours d'examen sous la loupe binoculaire.

La drosophile possède quatre paires de chromosomes, conventionnellement numérotées de 1 à 4, la première étant la paire de chromosomes sexuels (XX ou XY).

Chacun des gènes pris en considération ici existe sous deux formes (ou allèles) : la forme "sauvage", toujours représentée par le symbole +, et la forme "mutante" représentée par son symbole standardisé (*w*, *vg*, *se*, etc.).

La plupart de ces gènes mutants sont récessifs par rapport à leur allèle sauvage (à l'exception notable de *Bar*, *Dichaete* et *Lyra* : veuillez consulter à ce sujet la liste des races disponibles).

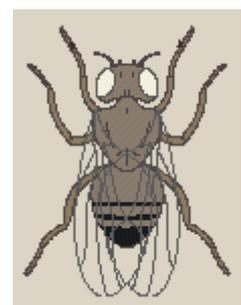
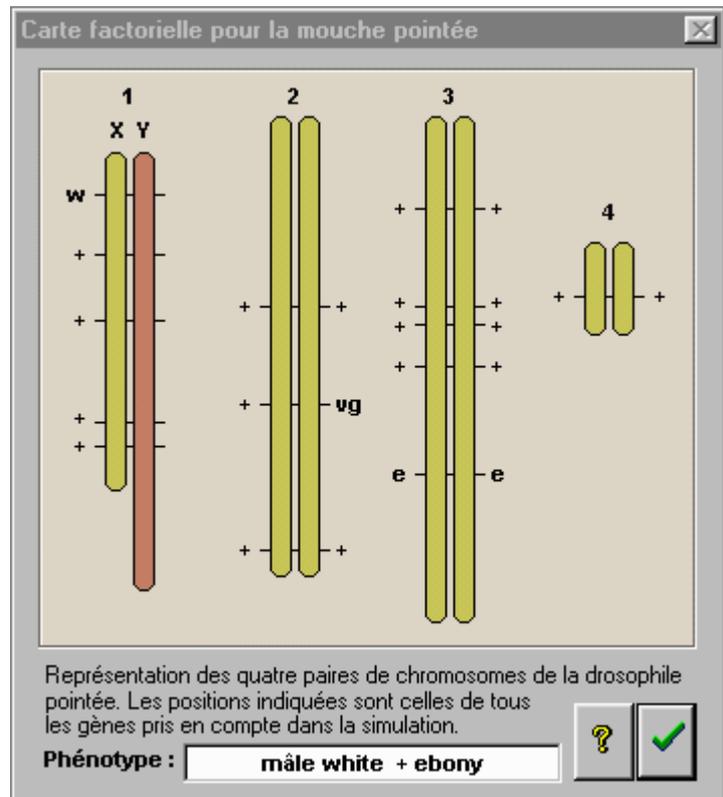
Pour qu'un de ces gènes mutants puisse s'exprimer dans le phénotype de l'animal, il faut donc qu'il soit présent à l'état homozygote (c.à.d. en double exemplaire, sur chacun des deux chromosomes homologues qui peuvent le porter).

Par exemple, si nous analysons la carte factorielle reproduite ci-contre, nous pouvons voir que le gène *e* (*ebony*) est présent à l'état homozygote sur la paire de chromosomes N° 3, alors que sur la paire N°2, le gène *vg* (*vestigial*) est présent seulement à l'état hétérozygote.

Le phénotype résultant n'exprimera donc que le seul gène *ebony* (le gène *vestigial* restera masqué par son allèle sauvage dominant).

La situation est différente pour les gènes qui sont portés par le chromosome X. Ces gènes n'ont pas d'équivalent sur le chromosome Y qui caractérise les mâles. Un mâle peut donc exprimer un gène récessif dans son phénotype, tout en ne possédant qu'un seul exemplaire de ce gène sur son chromosome X.

C'est bien le cas pour le gène *w* (*white*) utilisé dans notre exemple. La transmission héréditaire du caractère *white* constitue un exemple typique d'hérédité liée au sexe.



## Drosophy

Du fait du petit nombre de ses chromosomes, on observera aussi avec la drosophile de nombreux exemples de *linkage* (comportement de deux gènes comme une seule entité du fait de leur liaison sur le même chromosome) et de *crossing-over* (échange de fragments de chromosomes). Drosophy vous permet d'étudier tous ces phénomènes dans de bonnes conditions : la possibilité d'afficher la carte factorielle constitue une aide précieuse.

A titre d'exercice d'analyse approfondie, vous pouvez même vous efforcer de reconstruire par induction une carte factorielle complète à partir de vos résultats statistiques expérimentaux.

L'explication détaillée de tous ces phénomènes dépasse le cadre de la présente documentation. Veuillez donc consulter votre professeur ou la littérature spécialisée pour tout complément d'information.

## IV. Exploitation pédagogique du logiciel

Nous pensons que l'utilisation de ce logiciel par nos élèves peut les aider à découvrir les premières lois de la génétique d'une manière très active et attrayante, et aussi leur permettre d'exercer des compétences opérationnelles. La complexité des manipulations à réaliser devrait leur faire prendre conscience qu'il est nécessaire de bien organiser son travail lorsque l'on pratique une recherche expérimentale.

On aura compris qu'il faut gérer plusieurs flacons à la fois, pour installer d'abord les races pures obtenues du fournisseur, et ensuite les géniteurs du croisement entrepris. Il est particulièrement intéressant de lancer le même croisement en parallèle dans plusieurs flacons, et de comparer les résultats ainsi obtenus. Beaucoup d'élèves s'attendent à obtenir des proportions rigoureusement égales aux prévisions théoriques, et ce n'est généralement pas cela que l'on obtient : voilà l'occasion de leur donner une idée plus juste de ce que signifie une loi statistique.

L'élève devra réaliser qu'il lui faut décider une méthode de progression rigoureuse, qu'il ne doit pas trop vite envisager des croisements polyhybrides, etc.

Une des particularités essentielles de ce programme est que les différents phénotypes obtenus en résultat d'un croisement sont *montrés*, et non pas *décrits*. Ceci est très important à nos yeux, parce que cela signifie que l'élève doit donc obligatoirement *analyser* l'image qui lui est présentée à l'écran, pour essayer de comprendre ce qui se passe, tout à fait comme dans une véritable expérience. Dans cet ordre d'idées, nous déconseillons d'activer trop tôt l'utilitaire qui affiche automatiquement le décompte de tous les phénotypes présents, de même que celui qui affiche la carte factorielle.

Nous pensons en effet qu'une simulation comme celle-ci doit absolument éviter de présenter à l'élève des conclusions. C'est l'élève qui doit les tirer lui-même, quitte à ce qu'il se trompe ! Un logiciel à vocation pédagogique doit obliger l'élève à réfléchir, et non pas réfléchir à sa place. Le déroulement des opérations est déjà beaucoup plus rapide au cours d'une simulation qu'au cours d'une véritable expérience. Il ne faudrait pas que le souci d'obtenir rapidement des résultats conduise à escamoter la compréhension des phénomènes, laquelle doit rester l'objectif primordial.

D'un autre côté, il ne faut pas non plus entretenir l'illusion que la démarche expérimentale est un processus évident, automatique en quelque sorte. Il faut au contraire apprendre à nos élèves que l'élaboration d'une expérience implique la prise en compte de nombreux petits problèmes secondaires (vaisselle, rangement, intendance ...) et souvent un gros effort d'imagination.

## **Drososfly**

Pour que ces concepts soient bien mis en évidence, cependant, et aussi pour qu'ils puissent être suffisamment structurés en vue de leur mémorisation, il importe de donner à l'élève quelques directives.

Le professeur devra notamment insister beaucoup sur l'importance de la prise de notes en cours de travail : il faut noter les observations, les hypothèses à vérifier, les actions entreprises, ainsi que leur résultat.

**Il nous semble essentiel que l'élève soit tenu de rédiger un rapport de travail.**

En effet, si l'on veut exploiter convenablement les potentialités du logiciel, il faut laisser aux élèves la possibilité de travailler plusieurs heures avec Drososfly. Ce long travail doit se concrétiser dans la rédaction d'un texte, ne serait-ce que pour prouver que les heures consacrées à cette activité ont été profitables. Nous sommes convaincus qu'il est important d'apprendre à nos élèves à produire de tels rapports, de les vouloir assez ambitieux, d'en exiger une présentation soignée. Ce genre de travail est valorisant en lui-même pour l'élève, et le professeur ne devra pas craindre de lui attribuer une importance suffisante dans son évaluation finale, au bulletin.

Les élèves doivent pouvoir utiliser le logiciel de manière très libre : il faut en effet leur laisser réellement découvrir et explorer la simulation. Il sera bon, toutefois, d'entrecouper ces séances d'expérimentation libre aux commandes du logiciel, de quelques mises en commun (ou synthèses) sous la direction du professeur.

## Suggestions de croisements à effectuer

Les informations qui suivent sont des suggestions et des directives destinées aux professeurs qui connaissent mal la génétique particulière de la drosophile. Elles leur permettront d'appréhender la gamme d'expériences réalisables, et de guider le cheminement de leurs élèves. (Cfr. Races disponibles, p. 28)

### A. Vérification des lois de Mendel

#### 1. Monohybridisme

Pour réaliser une expérience de croisement monohybride Mendélien, (sans liaison avec le sexe), on doit croiser la souche [*sauvage*] (dont le symbole est [+]) avec l'une des races mutantes :

*black, vestigial, brown, sepia, scarlet, ebony, eyeless*

Les autres caractères produisent des effets particuliers (voir plus loin).

*Note : Tous les caractères cités ci-dessus sont récessifs par rapport à leurs allèles "sauvages". Il faut bien comprendre que le terme "sauvage" désigne en fait plusieurs caractères différents : couleur du corps "normale", longueur des ailes "normale", couleur des yeux "normale", etc.*

Effectuer un croisement entre la souche [*black*] et la souche [*sauvage*] consiste donc à croiser deux races qui ne diffèrent que par la couleur du corps : couleur beige (caractère dominant) pour la souche [*sauvage*], et couleur très sombre pour la souche [*black*]. D'une manière analogue, croiser la souche [*sepia*] avec la souche [*sauvage*] consiste à croiser des mouches possédant des yeux sombres avec des mouches possédant des yeux rouges, etc.

#### 2. Dihybridisme

Chez la drosophile, le petit nombre de chromosomes fait que beaucoup de caractères sont liés (phénomène de *linkage*). En effet, tous les gènes pris en compte dans la présente simulation sont situés sur quatre chromosomes seulement, et l'un d'entre eux est le chromosome X.

Par conséquent, si l'on veut étudier le dihybridisme Mendélien (c.à.d. à gènes indépendants, et sans liaison avec le sexe), il faut nécessairement combiner l'un des 3 caractères *black, vestigial, brown* (situés sur le chromosome n° 2) avec l'un des 3 caractères *sepia, scarlet, ebony* (situés sur le chromosome n° 3), ou encore l'un quelconque de ces 6 caractères avec le caractère *eyeless* (lui-même situé sur le chromosome n° 4).

# Drosophly

On peut procéder de deux manières équivalentes :

- ♦ Soit croiser la race sauvage de référence avec une race possédant deux caractères mutés, choisis dans chacun des groupes indiqués ci-dessus (par exemple : la race [vg se]). Le phénotype correspondant à la souche sauvage sera représenté dans ce cas par le symbolisme [+ +]. (Les deux signes + représentent les deux allèles "normaux" pris en compte. Par exemple : "ailes longues" et "yeux rouges").
- ♦ Soit croiser l'une des races mutantes avec une autre (par exemple, croiser la race [vg +] avec la race [+ se]. Comme on l'aura compris, ce symbolisme signifie : croiser des mouches possédant à la fois des ailes vestigiales et des yeux normaux, avec des mouches dont les ailes sont normales et les yeux *sepia*).

### 3. Interaction génique

Si vous combinez deux caractères concernant la même "cible", par exemple deux caractères concernant tous deux la couleur de l'oeil, des effets d'interaction génique devraient se produire, mais tous n'ont pas été étudiés par l'auteur de ce programme, qui ne peut donc garantir la validité des phénotypes présentés que dans un seul cas : le croisement [*brown*] x [*scarlet*].

Pour comprendre ce qui se passe au cours de ce croisement assez particulier, il faut savoir que les yeux des mouches [*sauvages*] doivent leur couleur à la présence de deux pigments : un pigment rouge vif et un pigment brun. Les mouches [*brown*] ont les yeux bruns parce qu'il leur manque le pigment rouge. Les mouches [*scarlet*] ont les yeux rouge vif parce qu'il leur manque le pigment brun.

En seconde génération de ce croisement, on doit obtenir une faible proportion (environ 1/16) de mouches homozygotes pour les deux caractères [*brown*] et [*scarlet*]. Il manquera alors à ces mouches, à la fois le pigment rouge et le pigment brun. Le résultat est que les yeux de ces mouches sont dépigmentés et apparaissent donc blancs.

Mise à part cette exception très intéressante, évitez donc de tels croisements ([*se*] avec [*bw*] ou [*st*], [*b*] avec [*e*], etc.). La remarque vaut aussi pour les croisements plus complexes étudiés ci-après (hérédité liée au sexe, *linkage*, etc.).

### 4. Polyhybridisme

Il n'est pas possible de réaliser, à l'aide de drosophiles, une expérience de polyhybridisme à gènes indépendants, non liés au sexe, concernant plus de trois caractères. Il n'existe en effet chez la drosophile que quatre chromosomes, dont trois seulement sont vraiment "utiles" (le quatrième est très court et ne porte qu'un seul gène accessible à *Drosophly*), et l'un des quatre est forcément le chromosome X intervenant dans l'hérédité sexuelle.

Si vous voulez tenter une expérience de croisement trihybride, essayez par exemple :

[vg e ey] x [+ + +]      ([*vestigial ebony eyeless*] x [*sauvage*])

Vous pouvez bien évidemment expérimenter des croisements qui font intervenir plus de 3 caractères, mais il se produira alors nécessairement des phénomènes de *linkage* et d'hérédité liée au sexe, comme décrits ci-après.

## B. Hérité liée au sexe / semi-dominance

Les caractères suivants sont déterminés par des gènes liés au chromosome X, et leur mode de transmission est donc fonction du sexe :

*white, cut, miniature, forked, Bar*

On effectuera par exemple le très classique croisement [*white*] x [*sauvage*] (drosophiles aux yeux blancs x drosophiles aux yeux rouges), et dans les deux sens, bien entendu.

**Note :** Le caractère [*Bar*] (noté [*B*]) est **semi-dominant** : Dans les résultats d'un croisement avec la souche [*sauvage*], on pourra donc observer des phénotypes hybrides, notés [*B!*] et dénommés "semi-*Bar*", mais uniquement chez les femelles.

## C. Linkage

La drosophile présente cette particularité qu'il ne se produit jamais de *crossing-over* chez les mâles. On pourra donc observer des phénomènes de *linkage* pur dans les croisements du type :

[b vg] x [+ +]      ([*black-vestigial*] x [*sauvage*] )

On obtient une première génération d'hybrides (F1), qui présentent tous le phénotype [+ +]. On réalise alors un croisement-test (*test-cross*), en croisant des mâles F1 avec des femelles de race pure [b vg].

On peut expérimenter d'autres cas de la même façon, en sachant que :

- ♦ Les gènes *black, vestigial, brown* sont liés (au chromosome 2).
- ♦ Les gènes *sepia, Dichaete, Lyra, scarlet, ebony* sont liés (au chromosome 3).

**Note :** Les gènes *Lyra* et *Dichaete* sont dominants, très proches l'un de l'autre sur le chromosome 3, et létaux à l'état homozygote (voir l'explication de ce cas particulier plus loin dans le présent texte).

## Drosophy

Nous avons déjà signalé plus haut la liaison des gènes *white*, *cut*, *miniature*, *forked*, *Bar* au chromosome X. Il est cependant impossible d'éviter le phénomène de *crossing-over* dans les croisements faisant intervenir ces gènes, puisque les seuls hybrides possibles sont nécessairement des femelles, dans ce cas.

### D. Crossing-over

Le *crossing-over* s'observe au mieux dans les *test-cross* inverses de ceux qui ont été cités ci-dessus.

**Exemple :** On effectue le croisement [b vg] x [+ +], duquel on obtient une première génération d'hybrides, qui ont tous le phénotype [+ +].

On réalise alors un *test-cross*, mais en croisant cette fois une femelle hybride F1 avec un mâle de race pure [b vg].

Un autre exemple particulièrement simple à mettre en oeuvre se présente dans le cas des gènes liés au chromosome X, et ceci grâce aux particularités de l'hérédité liée au sexe. Un croisement du type :

**femelle [w m] x mâle [+ +]** (femelle [*white miniature*] x mâle [*sauvage*])

produit en F1 des mâles [w m] (qui sont homozygotes) et des femelles hybrides, de phénotype [+ +].

La F2 sera donc automatiquement équivalente à un *test-cross*.

### E. Etablissement de cartes factorielles

L'étude du *crossing-over* permet d'établir des cartes factorielles, lesquelles indiquent l'emplacement des gènes sur les chromosomes. On évalue la disposition des gènes le long d'un chromosome, et la distance qui les sépare, en considérant les fréquences des différents recombinants dans des croisements du type :

**femelle [w m f] x mâle [+ + +]**  
(femelle [*white miniature forked*] x mâle [*sauvage*])

Drosophy produit pour des croisements comme celui-ci des résultats statistiques suffisamment précis pour déterminer l'ordre des gènes le long des chromosomes, et même pour indiquer l'écart relatif des gènes (c.à.d. déterminer si 2 gènes sont à des distances différentes d'un troisième, par exemple), cependant les distances citées dans la littérature ne seront pas exactement reproduites, pour différentes raisons purement techniques que nous n'expliquerons pas ici.

## F. Gènes létaux

L'expérimentation à l'aide de drosophiles réelles, que nous conseillons vivement (la simulation avec Drososfly ne devrait servir que de complément), montre que les différents caractères mutants étudiés affectent la viabilité des mouches de manière très variable. Certaines races sont très fragiles, ont un faible taux de reproduction, ne s'accouplent pas ou très peu, etc.

Dans l'état actuel des choses, Drososfly ne reproduit pas ces phénomènes. On ne peut donc pas s'en servir pour étudier la compétition entre deux races élevées dans le même flacon, par exemple.

Un seul cas particulier a été envisagé : celui d'une mutation tellement profonde que la viabilité de la mouche qui la porte est réduite à néant à l'état homozygote (un tel caractère est donc appelé caractère léthal).

La race [*Lyra* *Dichaete*] présente cette particularité.

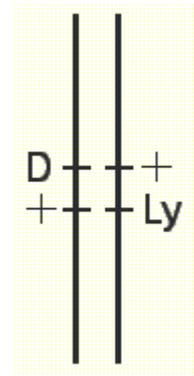
Quand on commande cette race, on reçoit en fait des doubles hybrides "équilibrés":

Les gènes *Ly* et *D* sont situés sur un même chromosome, et sont très proches l'un de l'autre ( $\Rightarrow$  faible taux de *crossing-over*).

Cette race, laissée à elle-même, se reproduit donc apparemment comme une race pure, puisque les génotypes [*Ly Ly*] et [*D D*] ne peuvent pas exister.

Le croisement avec la souche sauvage fournit cependant des phénotypes [*Ly +*] et [*+ D*], tout à fait inattendus.

Il est intéressant de soumettre ce cas bizarre à la sagacité d'élèves particulièrement motivés (sans l'interpréter tout de suite, bien entendu !).



## V. Informations diverses concernant le logiciel

### Programmation

**Drososfly** est le résultat d'une longue démarche didactique qui a débuté vers 1980.

A cette époque, l'auteur avait déjà élaboré un logiciel de simulation génétique qui fonctionnait sur l'un des premiers micro-ordinateurs commercialisés en Europe : le TRS-80 de TANDY. Bien que totalement dépourvu d'interface graphique, ce logiciel proposait déjà aux élèves une démarche d'apprentissage par expérimentation virtuelle.

Entièrement réécrit pour le PC sur base d'un nouveau scénario qui ne variera plus guère par la suite, Drosolab version 1 est lancé en 1988 (Distribution par la société Symea SA - Liège). Une description détaillée du logiciel paraît dans la revue Probio (Association des professeurs de Biologie - Belgique) de Juin 1989. Il s'agit alors d'une version monochrome, et la définition des images n'est pas très fine, mais le contrôle du logiciel est déjà entièrement assuré par la souris. (Pour rappel : Windows 3.0 ne sortira qu'en Mai 1990).

Après diverses adaptations et modifications du logiciel en fonction de l'évolution des machines, l'auteur décide en 1999 une refonte complète qui aboutira au produit actuel. Drosolab est alors à nouveau entièrement réécrit pour Windows 95/98 à l'aide de Clarion 5, puis Clarion 5.5 (version professionnelle), générateur d'applications et langage de programmation de la société américaine Topspeed, récemment rebaptisée Softvelocity. Il s'appellera désormais Drososfly.

Le programme source actuel comporte environ 18000 lignes de code.

Les dessins ont été réalisés à l'aide de Corel Draw! Version 8, éventuellement retravaillés et convertis ensuite à l'aide de Lview Pro Version 1.D2 et Gif Animator 2 de Ulead Systems Inc.

Le système d'aide contextuelle a été réalisé à l'aide du logiciel Wysi-Help Composer Version 2.202 de Udico.

Les démonstrations animées ont été "capturées" à l'écran à l'aide de ScreenCorder 2.1 de MatchWare, et retravaillées ensuite à l'aide de Gif Animator 3 déjà cité.

Le logiciel d'installation est Setup Builder 3 de Linder Software.

## Distribution du logiciel

Vous pouvez obtenir une licence d'utilisation de Drososfly auprès des organismes suivants :

### En France :

#### Génération 5

82, Rue du Bon Pasteur, 73000 Chambéry  
Tél. : +33 479969959 Fax : +33 479969653  
<http://www.generation5.fr>

### En Belgique :

#### Inforef A.S.B.L.

Rue E. Wacken, 1B, 4000 Liège  
Tél. : +32 42210465 Fax : +32 42370997  
<http://www.ulg.ac.be/cifen/inforef/swi>

### Au Canada :

#### Diffusion Multimedia Inc.

1200, avenue Papineau, bureau 321  
Montréal (Québec) H2

### Autres logiciels 7P Soft disponibles :

- ECOJOB :** Gestion simulée d'un écosystème.  
**BACTOLAB:** Simulation d'un laboratoire de bactériologie.  
**REFLEXARC:** Étude des fonctions nerveuses élémentaires.  
**FROGMEW :** Approche de l'hormonologie par l'étude expérimentale de la métamorphose, chez la grenouille.  
**COLORKIT :** Étude de la théorie trichromique des mélanges colorés.  
**GRAVILAB :** Étude expérimentale de la gravitation.  
**VOLTAKIT :** Étude des circuits à courant continu.  
**WAVELAB :** Étude du comportement d'ondes matérielles dans un milieu à deux dimensions (cuve à ondes).  
**COVALION :** Jeu éducatif sur les liaisons chimiques fondamentales  
**DIDAKIT :** L'assistant didactique : gestion du journal de classe, des interrogations, du carnet de notes, des bulletins.