

---

# EcoJob



**ECOJOB**

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

**Objet :** Exploration & Gestion simulées d'un écosystème simplifié.

**Niveau d'études concerné :**

Enseignement secondaire général (années terminales).

**Auteur :** Gérard Swinnen - Verviers (Belgique).

**Auteur de la documentation :** G. Swinnen.

**Matériel requis :** Ordinateur de type PC, fonctionnant sous MS-DOS ou Windows (toutes versions).

(C) 7P Soft / G.Swinnen & INFOREF A.S.B.L., Liège (Belgique).

Code Portions (C) 1982-1992 Microsoft Corporation. All rights reserved.

**Dépôt légal :** D/1993/5599/20

**Avertissement :**

*Le présent logiciel est le résultat de plusieurs années de recherches et d'expérimentations menées dans différentes classes de l'enseignement secondaire. Il a fait l'objet de nombreux remaniements en fonction de l'expérience accumulée, mais ne peut évidemment pas prétendre à la perfection absolue. La mise au point d'un bon programme de simulation d'expérience à but didactique est longue et difficile : c'est l'utilisation répétée en classe, avec différents groupes d'élèves, qui permet d'en repérer les défauts résiduels et suggère des possibilités d'amélioration.*

*L'auteur se réserve donc le droit de continuer à apporter à ce logiciel toutes les modifications qu'il jugera 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**.*

*Si vous avez acquis ce logiciel en licence école (licence sur site), vous pouvez en faire des copies en nombre suffisant pour l'utilisation simultanée sur toutes les machines équipant un seul local (salle de classe), sous votre direction personnelle. Vous n'êtes pas autorisé à céder une quelconque de ces copies à autrui. Le logiciel 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 le distributeur du logiciel 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.*

*Toute tentative de copie illicite sera considérée comme une violation des droits d'auteur du programme, déliera le distributeur de tout accord de service après-vente éventuellement conclu avec l'acquéreur, et pourra entraîner des poursuites judiciaires.*

## Sommaire.

I. Introduction : la simulation d'expériences	6
A. Principe.	6
B. Concevoir un logiciel de simulation.	7
II. Présentation du logiciel.	12
A. Objectifs pédagogiques.	13
B. Principe.	13
C. La simulation.	15
D. Modèle mathématique utilisé.	16
E. Gestion de l'écosystème.	17
F. Espèces présentées.	17
G. Succession.	20
H. Relations proie/prédateur & hôte/parasite.	20
I. Autres concepts écologiques mis en évidence.	22
III. Le travail avec ECOJOB.	23
A. Mise en route du logiciel.	25
B. Exploration / Apprentissage.	26
1. Examiner la végétation.	28
2. Noter les espèces présentes.	29
3. Capturer des insectes.	31
4. Compétence actuelle.	33
5. Rapports d'exploration.	33
6. Choix d'une autre île.	34
7. Changer le mode d'affichage.	35
8. Aide technique (bouton "???").	35
9. Restauration état antérieur.	36
10. Insectes capturés (bouton "Coccinelle").	36
C. Contrôle de la simulation.	38

1. Options d'affichage.	39
2. Contrôle de l'évolution.	43
3. Graphiques.	44
4. Travaux de gestion.	49
5. "Patrons" de répartition spatiale des travaux.	50
6. Programmation des travaux dans le temps.	51
7. Plans de chasse.	52
8. Lutte biologique.	53
9. Mémorisation des travaux entrepris.	53
IV. Exemple d'utilisation du logiciel.	55
A. Première tentative.	55
B. Seconde tentative.	58
C. Troisième tentative.	60
V. Exploitation pédagogique du logiciel.	63
VI. Guide de travail & Questionnaire.	66
A. Découverte de l'île.	66
1. Etude de la végétation.	66
2. Observation des insectes.	67
3. Etude des populations animales.	68
B. Gestion de l'écosystème.	69
1. Courbes de croissance.	69
2. Phénomène de succession.	70
3. Plantation d'arbres fruitiers.	70
C. Quelques questions de synthèse.	72
D. Documents de travail.	72
VII. Quelques considérations techniques.	76
A. Installation du logiciel.	76
B. Remarques complémentaires.	76
VIII. Bibliographie.	79

# I. Introduction : la simulation d'expériences.

## A. Principe.

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. L'élève effectuant une expérimentation apprend en effet bien davantage une démarche que des notions; il doit directement réaliser une certaine performance, concrète, d'une manière relativement autonome; il doit donner des preuves de sa compréhension du langage scientifique, communiquer avec ses condisciples, chercher des renseignements, rédiger un rapport décrivant ce qu'il a fait et ce qu'il a compris ...

Tous ces apprentissages sont des acquis bien plus durables et bien plus utiles que les notions péniblement mémorisées à la suite de leçons magistrales "traditionnelles".

Or, l'élève à qui l'on offre l'opportunité de travailler sur ordinateur, avec un programme de simulation d'expérience bien conçu, se trouve confronté à une démarche très proche de celle qu'il peut vivre lors de travaux pratiques de laboratoire, mais 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.
- L'ordinateur peut guider l'élève et mémoriser le travail accompli.
- 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 manoeuvre.
- Un véritable droit à l'erreur est instauré : l'étudiant peut décider lui-même sa stratégie expérimentale, procéder par tâtonnements, se tromper et recommencer éventuellement un grand nombre de fois ses tentatives, sans qu'il en coûte trop de temps ou d'argent.

## **B. Concevoir un logiciel de simulation.**

### **1. Contraintes.**

Il existe de nombreuses manières de simuler une expérimentation scientifique, et le risque est grand de présenter, dans une simulation mal conçue, une image de la réalité trop simpliste, déformée, ou même carrément fausse. Il faudra donc choisir méticuleusement les données et les modèles intervenant dans la simulation.

D'autre part, il n'est pas souhaitable que l'utilisateur d'un logiciel pédagogique doive au préalable étudier un langage de programmation, un jargon technique laborieux, ni même un mode d'emploi compliqué. Il faut que le "pilotage" d'un programme didactique reste une opération aussi naturelle que possible.

Il ne faut pas non plus que le souci de simplifier à outrance la tâche de l'utilisateur aboutisse à l'élaboration d'un programme insipide, dans lequel les seules "activités" proposées à l'élève soient de presser une des touches du clavier de temps en temps, pour faire défiler à l'écran des pages de texte vaguement animées, et de répondre à l'une ou l'autre petite question par-ci par-là, afin de mériter en finale une bonne note.

Concevoir un logiciel pédagogique comme on conçoit un livre est pour moi une grave erreur, même si l'ordinateur aide à tourner les pages.

L'ordinateur est un outil tout à fait nouveau et fantastique, auquel il est possible de donner une sorte de comportement, une certaine capacité de réagir aux interventions de son utilisateur en fonction d'une logique prédéterminée. Lorsqu'il est programmé ainsi, l'ordinateur devient un véritable partenaire pour l'exploration d'un domaine du savoir, une sorte de miroir qui renvoie à son utilisateur l'image de sa propre intelligence.

Le logiciel didactique devra donc être imaginé plutôt comme une mission d'exploration dans un pays inconnu : un "micro-monde".

On laissera à l'utilisateur un maximum de liberté d'agir à sa guise, de chercher un fil conducteur, d'émettre des hypothèses, de mesurer, de faire des essais ... et donc aussi des erreurs. Le droit à l'erreur est une composante essentielle de l'apprentissage, et la simulation d'expériences sur ordinateur permet de lui rendre la place qu'il mérite dans notre enseignement.

## 2. Objectifs.

En définitive, je pense qu'un bon programme de simulation expérimentale à but pédagogique doit réunir les caractéristiques suivantes :

- a. En premier lieu, il ne doit pas remplacer l'expérimentation concrète, si celle-ci est réalisable.

Le contact avec l'être vivant, l'utilisation d'instruments et de techniques, la prise de conscience de la complexité naturelle qu'apportent les manipulations expérimentales réelles, sont irremplaçables.

On simulera donc plutôt des expériences qui sont trop longues, trop coûteuses, trop délicates, trop dangereuses, etc. pour pouvoir être menées concrètement en classe.

La simulation d'une expérience concrètement réalisable peut cependant trouver sa place en **complément** de travaux pratiques réels, si cette simulation permet d'éviter la répétition d'opérations de routine fastidieuses.

- b. Le programme de simulation doit être simple à utiliser, mais son objet doit être relativement complexe : l'étudiant doit comprendre d'emblée que l'on attend de lui un travail, et non un jeu. (Ce qui n'interdit bien sûr pas l'intervention d'un peu d'humour !)

- c. Il doit placer l'utilisateur dans une situation de travail aussi proche que possible des conditions expérimentales réelles, exploitant à cet effet les possibilités graphiques étendues que présentent les ordinateurs modernes.

Le rôle de l'image est primordial. L'utilisateur doit pouvoir poser des actes semblables à ceux qu'il accomplirait dans un véritable laboratoire. Il doit voir les instruments scientifiques ainsi que l'objet d'expérience. Il doit pouvoir manipuler. **Les résultats d'une expérience doivent lui être montrés, et non décrits.** C'est l'expérimentateur qui doit observer et interpréter des résultats : un logiciel qui le fait à sa place ne peut pas être un bon logiciel pédagogique.

- d. L'expérience simulée doit l'être avec suffisamment de détails et de réalisme, pour ne pas masquer la complexité du réel, dont on n'explore en fait qu'un modèle. L'utilisateur doit pouvoir garder à l'esprit qu'une expérience scientifique consiste toujours à faire abstraction d'une multitude de paramètres pour étudier le rôle d'un seul ou de quelques-uns d'entre eux.

Même dans une simulation, il faut que l'expérimentateur soit confronté au problème du repérage des paramètres significatifs. Cela suppose donc qu'un nombre suffisant de ces paramètres soient accessibles, laissant à l'utilisateur la liberté de choisir une stratégie expérimentale, de faire des erreurs, et de réfléchir, surtout ...

Le concepteur d'un logiciel de simulation se trouve ainsi devant un choix difficile : dans quelle mesure doit-il simplifier, ou au contraire compliquer le modèle mis en oeuvre ?

S'il choisit de simplifier sa représentation de la réalité, il permet à l'élève de centrer son attention sur l'essentiel, en lui évitant donc de se laisser distraire par des considérations accessoires. Mais cela signifie aussi que la situation analysée n'est peut-être plus qu'une image grossière de la réalité, sans valeur pédagogique véritable.

S'il choisit de construire un modèle plus complexe, il fournit à l'élève une image plus fidèle de la réalité, ce qui constitue un objectif honorable; mais cela entraîne souvent la conséquence que le programme devient difficile à utiliser, et/ou s'exécute trop lentement. L'utilisateur laissé à lui-même devant un trop grand choix d'options hésite devant le nombre de décisions à prendre, ne parvient pas à

définir un cheminement expérimental, se fourvoie dans des opérations inutiles, ne comprend plus l'objet même du travail.

Equilibrer ces préoccupations contradictoires est affaire délicate. La seule méthode satisfaisante consiste à tester le logiciel en classe, avec des élèves d'origines diverses, et à le modifier en fonction de l'expérience acquise.

- e. La structure du programme ne doit pas être trop linéaire, de telle sorte que l'utilisateur puisse cheminer à son gré dans la simulation, qu'il puisse se tromper, se perdre même, dans une certaine mesure, s'il ne travaille pas avec méthode. Ceci est nécessaire, afin de promouvoir un objectif pédagogique important, qui est d'**apprendre à l'élève à élaborer une stratégie expérimentale**.

Je pense que la simulation d'expériences sur ordinateur présente le grand avantage, par rapport à des techniques pédagogiques plus traditionnelles, y compris au laboratoire, qu'elle permet de mieux enseigner cette étape nécessaire de la démarche scientifique, que nous sommes bien souvent contraints de négliger par manque de temps.

Grâce à l'ordinateur, en effet, on peut véritablement se permettre de faire aborder un problème aux élèves par la méthode des essais et erreurs, les laisser recommencer de nombreuses fois la même chose, leur apprendre à tester un seul paramètre à la fois, etc.

Cela devient possible parce que les actions simulées sont réalisées très rapidement, et que la machine est évidemment dotée d'une patience sans limite !

Reconnaissons qu'au laboratoire, nous n'avons pratiquement pas le temps de procéder ainsi, et qu'à cause de cela, nous fournissons généralement à nos élèves des modes opératoires très (trop) directifs.

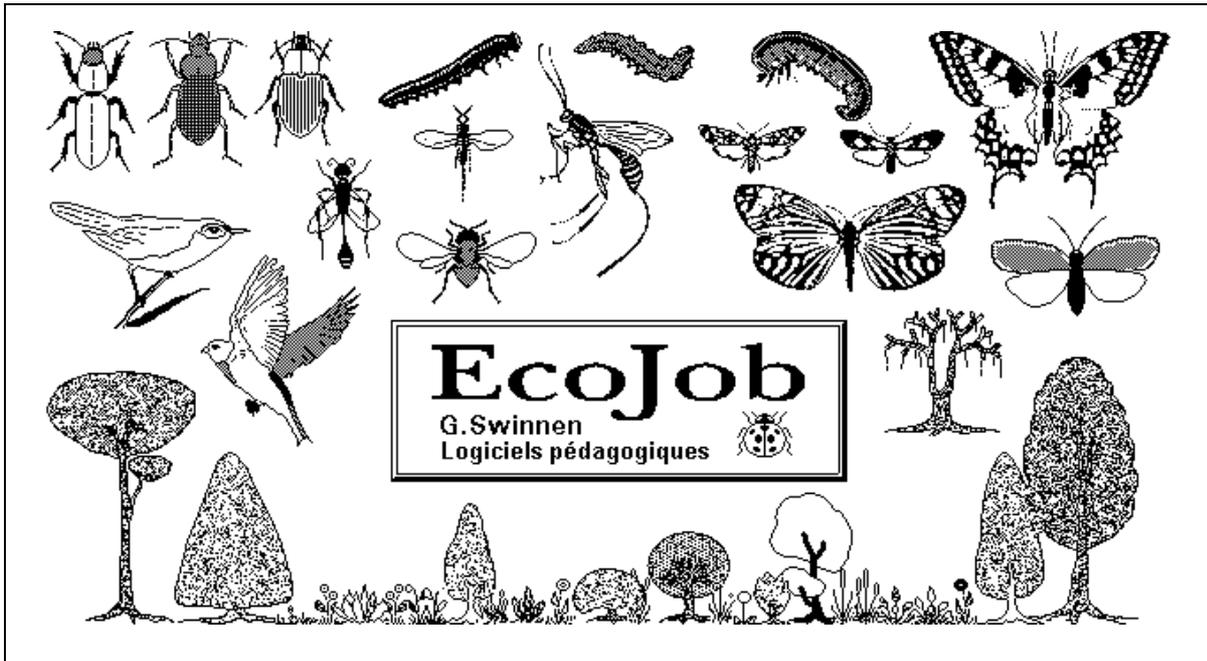
- f. Le logiciel de simulation peut en outre guider l'élève dans sa démarche, et mémoriser son travail. L'aide fournie doit cependant lui laisser un maximum de liberté de manoeuvre. C'est l'élève qui doit interpréter ce qu'il voit, et décider ce qu'il expérimente. Cela suppose aussi que l'on accepte de lui en laisser le temps.

L'expérience montre qu'une bonne simulation occupe l'élève pendant un temps appréciable. Si l'on veut qu'il puisse véritablement cheminer à son propre rythme, progressant à coups d'essais et d'erreurs, il faut lui donner le temps d'explorer un peu ...

Il faudra donc que le programme de simulation soit conçu de telle sorte que l'on puisse l'utiliser de manière interrompue, par étapes, en plusieurs séances de travail successives. Il faudra que l'on puisse sauvegarder l'état du système sur disquette, à la fin d'une séance, pour reprendre le travail la fois suivante, à l'endroit exact où on l'avait interrompu.

Il faudra aussi que le programme puisse mémoriser les principales actions entreprises par l'utilisateur, et lui en restituer un résumé à la demande.

Le logiciel décrit ci-après a été conçu dans le souci constant de satisfaire ces exigences.



## II. Présentation du logiciel.

**ECOJOB** est un programme très ambitieux dont le sujet est l'écologie, ou plus précisément : la **gestion simulée d'un écosystème**.

Considérant que l'essence même de l'écologie consiste à étudier la diversité des interrelations qui caractérisent le monde vivant, l'auteur du logiciel a travaillé avec la préoccupation constante de mettre au point une simulation fouillée, qui ne masque pas la complexité des interactions écologiques. Dans un travail de ce type, la simplification est en effet inévitable : elle est d'ailleurs le lot de toute modélisation scientifique.

On ne peut cependant l'accepter que si elle stimule la réflexion critique, et laisse la porte ouverte à des développements ultérieurs, des recherches approfondies.

Tout a donc été mis en oeuvre pour atteindre le plus haut degré de complexité possible, dans les limites qu'imposaient certaines contraintes techniques et pédagogiques, à savoir :

- d'une part, la capacité limitée des machines dont on dispose généralement dans les écoles secondaires;
- d'autre part, la nécessité de profiter au maximum du peu de temps que les élèves pourront consacrer à ce genre de travail.

La présentation graphique en a été particulièrement fouillée : plusieurs centaines de dessins, en couleur, permettent de voir 31 espèces végétales à des tailles diverses en fonction de leur croissance, et changeant d'aspect sous l'action des insectes ravageurs.

On peut aussi observer 15 espèces animales, dont les principales sont animées : les oiseaux volent, les papillons et les hyménoptères parasites également. Ces derniers mis en présence de chenilles finissent par les repérer et se poser sur elles pour y pondre leurs oeufs. Des carabes prédateurs courent tout autour de l'écran, attaquent les chenilles et les mangent !

### **A. Objectifs pédagogiques.**

Les objectifs principaux de ce logiciel sont de faire comprendre que :

- Aucun problème écologique n'est simple.  
Chaque situation naturelle est particulière, fait intervenir une multitude de paramètres différents, dont il faut à chaque fois s'efforcer de chercher et de maîtriser les principaux.
- La complexité est une richesse.  
C'est en grande partie grâce à leur extrême complexité que les écosystèmes naturels sont relativement stables, cette stabilité étant d'ailleurs essentiellement dynamique.  
Simplifier un écosystème entraîne presque à coup sûr son déséquilibre.
- L'homme a intérêt à étudier et à respecter les lois qui régissent le fonctionnement des écosystèmes, quand il entreprend de les modifier pour en tirer son profit.

### **B. Principe.**

L'utilisateur du programme, écologiste débutant, part à la découverte d'une petite île, dans laquelle il reçoit mission de cultiver des arbres fruitiers.

Après une période de formation, pendant laquelle il étudie la flore et la faune présentes, il doit entreprendre des travaux de gestion, c.à.d. défricher, planter des arbres, épandre de l'engrais, lutter contre les insectes ravageurs, etc.

Les arbres plantés sont en effet la proie de chenilles voraces, qui pullulent facilement et compromettent les récoltes. Il faudra donc trouver la stratégie de gestion la plus efficace, profiter au mieux des ennemis naturels des ravageurs, favoriser la pollinisation, etc.

La configuration géographique de l'île, les populations et biomasses initiales, sont définies aléatoirement au début du programme. Des utilisateurs différents travaillent donc sur une base différente. (On peut d'ailleurs décider de changer d'île en cours de travail).

Pour que le but à atteindre lui apparaisse clairement, et aussi pour qu'il reste conscient des implications économiques de ses décisions, l'utilisateur dispose au départ d'un certain budget, qu'il lui faut investir dans des interventions judicieusement choisies. Chaque opération de gestion lui coûte en effet une certaine somme d'argent. Chaque récolte, par contre, lui en rapporte.

Il faut en fait essayer d'équilibrer le mieux possible le fonctionnement de cet écosystème artificiel qu'est la plantation, de manière à minimiser le nombre d'interventions et d'arriver ainsi à produire un maximum de fruits au coût le plus bas.

La motivation première des actions entreprises est donc l'appât du gain. Il apparaît cependant assez vite, l'évolution de l'écosystème pouvant être simulée sur un grand nombre d'années, que les seules opérations rentables à long terme sont celles qui participent d'une véritable réflexion écologique. L'étude des paramètres significatifs et de leurs interactions doit être menée de manière rationnelle. Il faut élaborer des hypothèses, imaginer une procédure expérimentale pour tester leur validité, analyser les résultats obtenus pour tenter encore d'autres expériences, etc.

Au fur et à mesure de la progression des phénomènes simulés, on découvre alors, non seulement que les relations entre les êtres vivants et leur milieu sont d'une grande complexité, mais encore que cette complexité est elle-même un puissant facteur d'équilibre.

**ECOJOB** permet donc d'aborder de façon extrêmement active le problème de l'action de l'homme sur les équilibres naturels.

### C. La simulation.

Le travail réalisé par l'élève à l'aide d'**ECOJOB** sera un travail de simulation, au sens scientifique du terme.

Cette expression s'emploie quand on essaye de reproduire, à l'aide d'un ordinateur, le comportement d'un système dont l'évolution dépend d'un grand nombre de paramètres à la fois.

Le noyau d'un programme de simulation scientifique est donc un modèle mathématique faisant intervenir un grand nombre de variables.

Les relations entre ces variables, prises deux à deux, sont en général assez simples. L'esprit humain peut assez aisément se représenter chacune de ces relations, par une fonction mathématique ou un graphique, par exemple.

Par contre, quand toutes les variables agissent simultanément les unes sur les autres, l'ensemble ne peut plus être décrit d'une manière globale, et les prévisions de son comportement deviennent très difficiles. Pour s'en construire une représentation imagée, par exemple, il faudrait être capable de réaliser des graphiques dans un espace à 10, à 20 dimensions, ou peut-être davantage !

La simulation consiste alors à écrire un programme d'ordinateur qui calcule l'évolution de chaque variable en fonction des valeurs numériques attribuées aux autres, chaque nouvelle valeur entraînant à son tour une nouvelle modification de l'ensemble du système, et ainsi de suite, la chaîne de calculs étant bouclée sur elle-même.

L'évolution d'un tel système complexe est au départ imprévisible, surtout dans le détail, mais son analyse permet de repérer les influences prépondérantes, de déterminer quels sont les paramètres essentiels et ceux qui ne jouent qu'un rôle secondaire. La recherche consiste alors à modifier l'une ou l'autre des données de départ, parfois de façon minime, puis à observer l'effet produit sur l'ensemble. On peut assister ainsi à divers types d'évolution, pouvant conduire aussi bien à la stabilité qu'au chaos, ou encore à des phénomènes oscillatoires.

Plus le modèle est complexe, plus il est passionnant d'étudier les facteurs qui commandent son évolution.

## **D. Modèle mathématique utilisé.**

Le modèle mathématique mis en oeuvre dans **ECOJOB** intègre les paramètres suivants :

- Evolution de deux biomasses végétales et de cinq populations animales dans le temps et dans l'espace de l'écosystème.
- Interactions entre végétation et substrat (engrais, par exemple).
- Phénomène de succession végétale.
- Compétitions inter- et intra- spécifiques.
- Interaction entre un végétal et un herbivore ravageur.
- Interactions prédateur/proie (4 proies, 2 prédateurs).
- Interaction hôte/parasite.
- Phénomènes d'immigration, d'émigration, de propagation spatiale d'un ravageur ou d'un parasite.
- Activités de gestion humaine : défrichage, plantation, débroussaillage, épandage d'engrais, traitement à l'insecticide, chasse, suivant divers modèles de répartition spatiale et temporelle.
- Lutte biologique, à l'aide d'un prédateur naturel de l'espèce que l'on désire contrôler.

L'écosystème est suivi :

- Dans le temps, par graphiques (2 x 9 paramètres, pour l'île entière et pour un de ses secteurs en particulier; mémorisation de l'évolution pendant un maximum de 200 ans, par demi-années).
- Dans l'espace, par une cartographie automatique très élaborée (suivi des diverses biomasses et populations en parallèle pour tous les 900 secteurs de l'écosystème).

Les caractéristiques et l'état initial de l'écosystème étant établis au départ de façon aléatoire, chaque utilisateur du programme est assuré d'observer une situation et une évolution originales. Il est passionnant d'élaborer des stratégies de gestion, car leur résultat est très difficilement prévisible.

**Note :** *Le modèle mathématique mis en oeuvre dans ce logiciel est tout à fait original. L'auteur ne peut garantir son adéquation à reproduire fidèlement des évolutions particulières d'écosystèmes réels. La situation simulée est imaginaire, et doit être présentée comme telle aux élèves. La réalité est évidemment beaucoup plus complexe encore !*

## E. Gestion de l'écosystème.

Pour tous les travaux de gestion envisageables, une multitude de stratégies peuvent être mises en oeuvre.

**ECOJOB** dispose de plusieurs fonctions qui aident l'utilisateur à mettre en place ses plans de gestion. La répartition spatiale des actions et leur programmation dans le temps sont facilitées. Plusieurs "patrons" sont disponibles :

Pour le défrichage, par exemple, on choisit sur la carte de l'île la surface à traiter, puis on opte soit pour la coupe à blanc, soit pour un défrichage partiel de zones bien délimitées : en bandes parallèles, en damier, en clairières isolées, etc.

On peut de la même façon disposer les plantations à son gré dans divers secteurs de l'île. Le débroussaillage, les épandages d'insecticide et d'engrais peuvent être limités automatiquement aux secteurs plantés.

On peut programmer certaines actions dans le temps, de manière à ce qu'elles soient automatiquement réalisées avec une périodicité bien définie. C'est le cas pour la dispersion de carabes d'élevage dans les plantations (lutte biologique), c'est le cas aussi pour les épandages d'insecticide et d'engrais, pour la chasse des oiseaux.

## F. Espèces présentées.

On peut découvrir sur l'île trente et une espèces végétales différentes, qui sont représentées à des tailles diverses en fonction de leur croissance. Quinze espèces d'insectes peuvent être capturées au cours d'explorations de l'île. Il est proposé d'estimer l'effectif de leurs populations par la méthode de l'index de Lincoln (technique de capture - marquage - recapture).

On peut aussi voir voler des oiseaux et des papillons, constater *de visu* la prédation des chenilles par les carabes, observer l'ichneumon repérant une chenille pour la transpercer de son ovipositeur.

Le "suivi" de ces espèces diffère selon l'importance qu'elles occupent dans le modèle mathématique mis en oeuvre pour la simulation. Ce qu'il advient de l'espèce fruitière est montré en détail : les arbres grandissent en fonction de la richesse du sol, dépérissent ou meurent en fonction de

la progression des ravageurs, etc ...

Parmi les espèces animales rencontrées, cinq jouent un rôle effectif dans la simulation : les tordeuses, carabes, ichneumons déjà cités, dont les populations sont suivies secteur par secteur, auxquels il faut ajouter les oiseaux et nymphalidés butineurs suivis globalement pour l'île entière.

**Toutes ces espèces sont imaginaires**, mais leurs caractéristiques sont inspirées de celles d'espèces réelles. L'auteur du programme s'est notamment inspiré de plusieurs situations concrètes décrites dans la littérature, à propos des ravageurs de diverses essences arbustives :

- Il existe en Grèce et en Crète un exemple fort intéressant d'équilibre écologique complexe, à propos des oliveraies. Cet exemple a servi de point de départ à la réflexion qui, de fil en aiguille, a finalement abouti à l'élaboration de ce logiciel **ECOJOB**.

Au moment de leur floraison printanière, les oliviers sont souvent ravagés par la mouche de l'olive *Dacus oleae*, et la récolte d'olives est donc compromise.

En Grèce, le terrain entre les oliviers est fréquemment débroussaillé et mis en culture. L'infestation par la mouche de l'olive y est très importante.

Par contre, les oliveraies de Crète sont pratiquement épargnées et donnent des récoltes magnifiques, alors que les plantations y sont envahies de broussailles et de plantes diverses.

L'explication de cette situation en apparence paradoxale, est que *Dacus oleae* est lui-même parasité par le petit hyménoptère *Eupelmus urosonus*.

Si les oliveraies sont encombrées de végétation sauvage, on y trouve notamment la composée *Inula viscosa*, qui fleurit en octobre. Celle-ci sert alors de nourriture à une autre mouche proche de *Dacus* : *Myopites stylata*, parasitée comme elle par *Eupelmus*. Celui-ci peut donc se multiplier en dehors de la saison de floraison des oliviers, et donc être déjà présent en grand nombre dans les oliveraies quand apparaissent les premières générations de *Dacus*, au printemps.

Ce mécanisme instaure un équilibre entre l'olivier, l'inule, leurs parasites et leurs hyperparasites, et protège donc efficacement les oliveraies crétoises, qui sembleraient *à priori* plus menacées, puisque moins bien entretenues que leurs cousines grecques.

- Le cas de la nonne (*Lymantria monacha*) est décrit par plusieurs auteurs.

Ce lépidoptère européen a provoqué de véritables catastrophes au début du siècle, quand il s'est mis à proliférer dans les monocultures d'épicéas.

Il a aussi été introduit par accident aux Etats-Unis où il a accompli de terribles ravages dans les forêts de conifères. Il possède cependant de nombreux ennemis naturels : des ichneumons, des braconides, des carabes, des mouches tachinaires, des oiseaux, des chauves-souris ... Certains de ces prédateurs naturels ont été utilisés avec quelque succès dans des opérations de lutte biologique (introduction en Amérique du carabidé *Calosoma inquisitor*, par exemple).

- Le cas de la cochenille australienne *Icerya purchasi*, qui s'attaque surtout aux plantations d'agrumes, et aussi fréquemment décrit par divers auteurs. Ce ravageur a pu être contrôlé efficacement grâce à son prédateur naturel, la coccinelle *Novius cardinalis*.
- En Nouvelle Zélande, plus de 40000 ha de *Pinus radiata* ont été détruits en 5 ans, par des siricidés cette fois.

Les exemples de situations analogues sont nombreux. Citons pêle-mêle quelques autres ravageurs redoutables :

- *Tortrix viridiana* (tordeuse du chêne). Au printemps, ses chenilles sont capables de dénuder des chênaies entières.
- *Pseudotomoïdes strobilella* (tordeuse de l'épicéa).
- *Zeiraphera diniana* (tordeuse du mélèze).
- *Matsucoccus feytaudi* (cochenille s'attaquant aux pins maritimes).
- *Saperda carcharias* (qui s'attaque aux peupliers).
- etc ...

### G. Succession.

Le phénomène de succession végétale peut s'observer aisément dans tout secteur mis en friche récente. Les espèces qui s'installent naturellement sur ces nouvelles terres disponibles sont d'abord des espèces dites pionnières, souvent des espèces robustes, pouvant supporter le plein soleil et le vent, par exemple. Elles sont suivies par d'autres, la diversité et la biomasse augmentant graduellement jusqu'à une situation d'équilibre dynamique relativement stable, souvent appelée *climax*.

**ECOJOB** propose des facilités pour l'observation du phénomène.

Il suffit de défricher un secteur et de lancer la simulation. Au cours du temps qui s'écoule ensuite, on commande à plusieurs reprises des explorations de ce secteur.

La simple observation des changements opérés dans le paysage permet déjà de constater la diversification et l'augmentation de biomasse.

Pour une étude un peu plus approfondie, on peut prendre note des espèces présentes, en faisant usage d'une sorte de bloc-notes électronique dans lequel il suffit de pointer les rubriques voulues.

On procède ainsi à plusieurs reprises au cours du temps qui passe.

Une fonction d'**ECOJOB** permet ensuite d'obtenir l'affichage structuré des données mises en mémoire de la sorte, comme on procède dans la réalité à partir d'une base de données.

### H. Relations proie/prédateur & hôte/parasite.

L'utilisateur d'**ECOJOB** devra étudier soigneusement ces relations, qui sont fort subtiles.

Un prédateur consomme un nombre de proies variable, suivant ce qu'il peut trouver, bien sûr, mais aussi suivant son appétit. Il se multiplie si les proies sont abondantes, et dépérit dans le cas contraire.

La situation se complique si les proies sont consommées par plusieurs prédateurs dont l'efficacité de prédation et le taux de reproduction diffèrent.

Les parasites interagissent avec leur hôte d'une manière semblable, mais avec la différence importante que leur cycle reproducteur est généralement synchronisé sur celui de l'hôte, alors que dans le cas de la relation

prédateur/proie, des générations successives de proies et de prédateurs se chevauchent plus communément. Les modèles mathématiques à mettre en oeuvre ne sont donc pas les mêmes.

Les ichneumons adultes sont butineurs. La disponibilité de chenilles tordeuses pour pondre leurs oeufs n'est donc pas la seule condition de leur survie : ils doivent pouvoir aussi disposer de fleurs diverses. Les défrichages et débroussailllements excessifs risquent de les faire disparaître. Notons au passage qu'ils jouent aussi un certain rôle dans la pollinisation des arbres fruitiers.

Quand l'effectif d'une population devient assez grand, et surtout quand ses besoins dépassent ses ressources, une certaine proportion d'individus émigre à la recherche de meilleures conditions d'existence.

L'émigration des tordeuses est grandement facilitée si les secteurs contigus sont accueillants : le ravageur pourra donc se propager bien plus rapidement dans des plantations homogènes que dans des plantations espacées.

Notons que la dispersion des carabes suit à peu près la même règle, alors que celle des ichneumons est plus rapide (Ces insectes sont de bons voiliers).

Les oiseaux, eux aussi, ont leurs exigences particulières. Ils ne peuvent subsister s'ils ne disposent pas de sites suffisamment variés pour leur nidification. Leur rythme de reproduction est nettement plus faible que celui des insectes, et ils doivent trouver de la nourriture en toute saison.

### I. Autres concepts écologiques mis en évidence.

Le travail avec **ECOJOB** aboutit presque à coup sûr à une réflexion de plus en plus approfondie. Les questions qui se posent à l'apprenti gestionnaire en cours de simulation sont de plus en plus nombreuses, et les réponses de moins en moins évidentes.

Le professeur pourra au passage attirer l'attention sur un grand nombre de concepts écologiques :

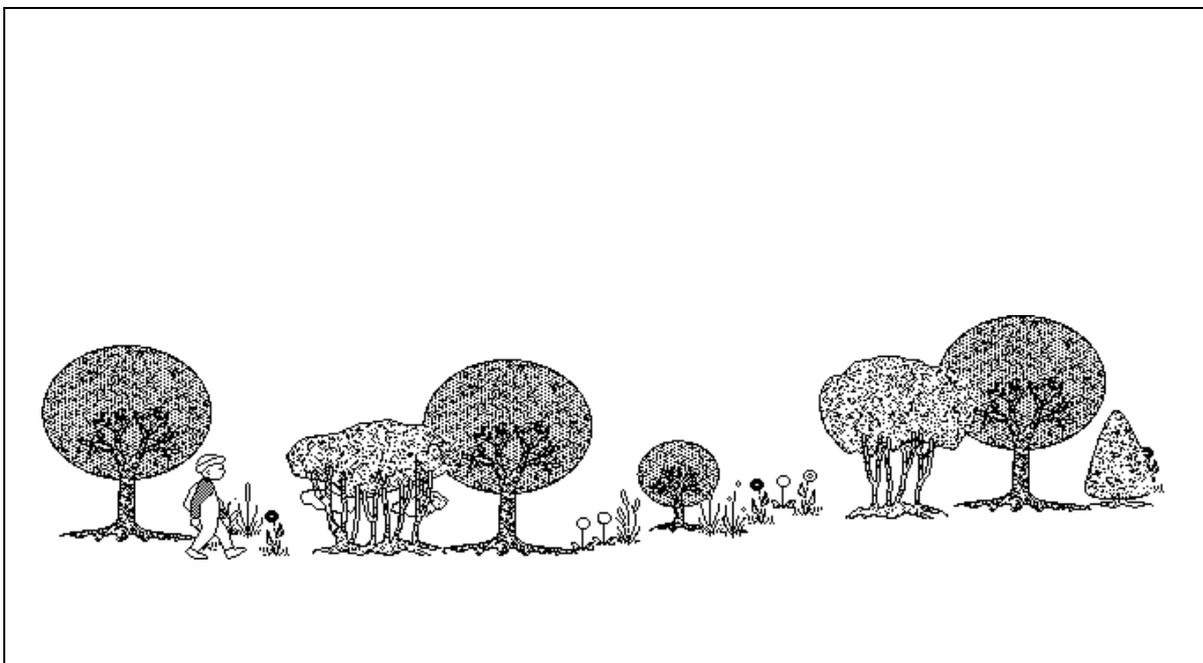
- Les notions d'écosystème, de biocoenose, de chaîne alimentaire.
- Les facteurs écologiques, biotiques et abiotiques.
- Les méthodes d'étude des effectifs de populations.
- Les lois de croissance des populations.
- Les stratégies démographiques.
- Les facteurs limitants et les fluctuations.
- La compétition intraspécifique.
- La compétition interspécifique, vis à vis de la nourriture disponible d'une part, et vis à vis des prédateurs d'autre part.
- La réaction des populations de prédateurs et parasites aux variations de densité des populations de leur proie.
- L'écologie particulière de certaines espèces.
- L'action de l'homme sur les écosystèmes.
- etc ...

Les pages qui suivent (chapitre III) constituent le manuel de référence d'**ECOJOB**. Il s'agit d'une description technique complète du programme, conçue surtout à l'intention du professeur. Celui-ci devra en effet pouvoir répondre aux interrogations de ses élèves, quand ils seront confrontés aux inévitables limitations du logiciel.

Il n'est pas souhaitable de fournir ce manuel technique aux élèves, qui devront plutôt explorer la simulation librement. A leur intention, nous fournissons au chapitre V un guide de travail et quelques documents.

Nous pensons aussi que l'utilisation d'**ECOJOB** devrait être complétée par de bonnes lectures concernant les faits écologiques mis en évidence. Beaucoup d'élèves apprécieront également de parfaire leur information au sujet de l'éthologie des insectes. Il existe de nombreux ouvrages fort intéressants sur ces questions, y compris dans le domaine "grand public" (et donc peu coûteux). Nous en signalons quelques-uns dans la bibliographie jointe à ce petit manuel.

### III. Le travail avec ECOJOB.



Imaginez que vous ayez reçu mission d'étudier la faune et la flore d'une petite île nouvellement découverte (sur une autre planète, pourquoi pas ?). Vous commencez par circuler dans l'île, observant plantes et animaux. Vous prenez des notes, vous récoltez des échantillons, vous estimez des biomasses, etc.

Vous découvrez alors qu'une espèce végétale (un arbre) donne des fruits comestibles très intéressants pour l'homme. Vous décidez donc de tenter la culture de cette espèce, sur une grande partie de la surface de l'île. Cela signifie que vous allez devoir défricher, planter, amender le sol peut-être, détruire certainement beaucoup d'autres végétaux.

En faisant cela, vous risquez de compromettre un équilibre fragile : Les arbres fruitiers qui vous intéressent demandent un sol riche, qu'ils épuisent progressivement quand leur biomasse devient trop importante. Peut-être déciderez-vous alors d'épandre de l'engrais, mais cela ne va-t-il pas favoriser la croissance de certaines plantes et en faire disparaître d'autres ?

Pour fructifier, les arbres doivent être pollinisés. Divers insectes (lépidoptères, hyménoptères) peuvent assurer cette pollinisation, mais ils

dépendent d'autres végétaux pour leur reproduction et/ou leur survie. Il faudra donc veiller à ce que ces plantes ne disparaissent pas.

Des insectes ravageurs (des chenilles tordeuses) s'attaquent aux arbres que vous voulez cultiver. Vous pouvez pulvériser un insecticide, mais le risque est grand que celui-ci agisse également à l'encontre des divers ennemis naturels des ravageurs, que vous devez considérer comme vos alliés :

- des carabes, coléoptères prédateurs assez efficaces, mais se dispersant lentement d'un secteur à l'autre, dans l'île ;
- des ichneumons, hyménoptères parasites pondant leurs oeufs à l'intérieur du corps des chenilles tordeuses ;
- des oiseaux enfin, qui s'attaquent indifféremment à tous les insectes.

Vous devez chercher à favoriser le développement de tous ces animaux, de même que celui des insectes butineurs assurant la pollinisation de vos arbres fruitiers. Parmi ces butineurs indispensables, il faut citer quelques superbes espèces de papillons nymphalidés : vous vous ferez un devoir de protéger de tels joyaux vivants !

Les tordeuses et les carabes, insectes volant peu, se dispersent beaucoup plus facilement d'un arbre à l'autre dans des plantations homogènes (monocultures) que dans des sites plus naturels, où les arbres d'une même espèce sont mélangés à d'autres essences, et sont donc habituellement bien séparés physiquement les uns des autres.

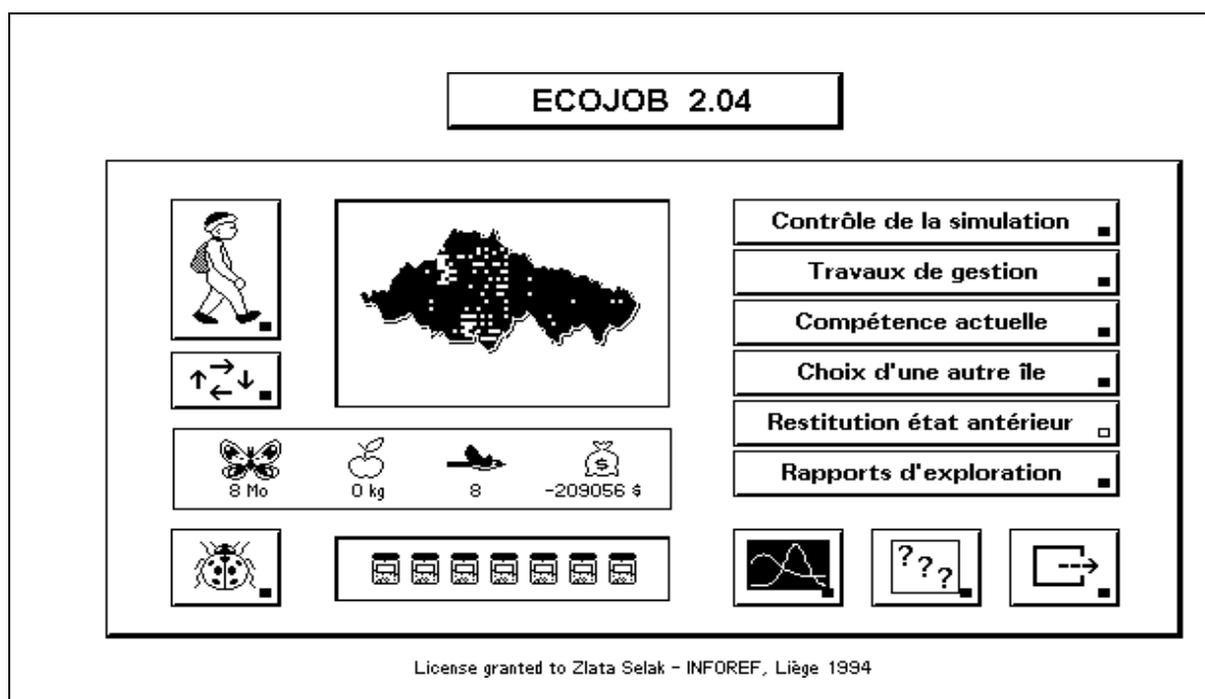
Les ichneumons se dispersent plus efficacement, mais leur mode de vie est complexe. Les larves se développent aux dépens des tordeuses, mais les adultes trouvent leur nourriture dans le nectar de fleurs diverses. Ils participent donc à la pollinisation des arbres fruitiers, mais notez bien, cependant, que les fleurs des arbres fruitiers ne leur suffisent pas : il leur faut trouver aussi d'autres espèces pour survivre.

Chacune des opérations de gestion que vous entreprendrez demandera la participation d'un personnel de terrain, que vous devrez rétribuer. D'autre part, les insecticides et engrais coûtent de l'argent. Vous disposerez donc d'un budget, qu'il s'agira d'équilibrer au mieux. En définitive, ce travail de gestionnaire vous demandera beaucoup de circonspection !

## A. Mise en route du logiciel.

Le logiciel doit d'abord être installé. Il s'agit d'une opération très simple, décrite au chapitre : **<Considérations techniques>** , page 76.

Après la séquence de présentation, vous obtenez le **menu principal** :



Toutes les fonctions du programme sont commandées par des boutons. Vous pouvez actionner ces boutons, soit à l'aide de la souris, soit à l'aide du clavier : dans ce cas, sélectionnez d'abord le bouton à l'aide des touches fléchées (Chaque bouton est muni d'un petit témoin d'activité qui passe au rouge quand le bouton est sélectionné), et puis frappez [Enter].

Vous pourrez constater que certains boutons apparaissent barrés quand vous tentez de les activer. Cela signifie que certaines options ne vous sont pas accessibles d'emblée. En effet : au début de votre utilisation du programme, vous êtes considéré comme un écologiste débutant, qui doit d'abord passer par une phase d'apprentissage et d'exploration, avant de se voir confier la gestion globale d'un territoire.

Au fur et à mesure de la progression de votre compétence, votre statut deviendra petit à petit celui d'une sorte de gouverneur.

Vous pourrez alors entreprendre des travaux de toute sorte, commander des études statistiques, et contrôler tous les paramètres de la simulation. En attendant, votre travail consistera à étudier la flore et la faune de l'île.

### **Note importante pour le professeur :**

*Il existe deux moyens d'outrepasser la contrainte signalée ici, à savoir l'obligation de passer par une série d'étapes d'exploration de l'île avant d'être autorisé à en contrôler l'évolution. Si le temps dont vous disposez est limité, et que vous souhaitez pouvoir entreprendre immédiatement des activités de gestion, consultez les **<Considérations techniques>**, page 76.*

A gauche du menu, une **carte** de l'île vous est présentée.

L'île est arbitrairement découpée en **secteurs**, chacun occupant une superficie de 1 hectare. Certains de ces secteurs sont marqués d'un petit pavé : ce sont les secteurs où l'on peut trouver l'espèce fruitière intéressante. Quand vous aurez fait la preuve de votre capacité à reconnaître les principales espèces présentes, à les répertorier et à évaluer leurs populations, vous aurez accès à une cartographie beaucoup plus élaborée.

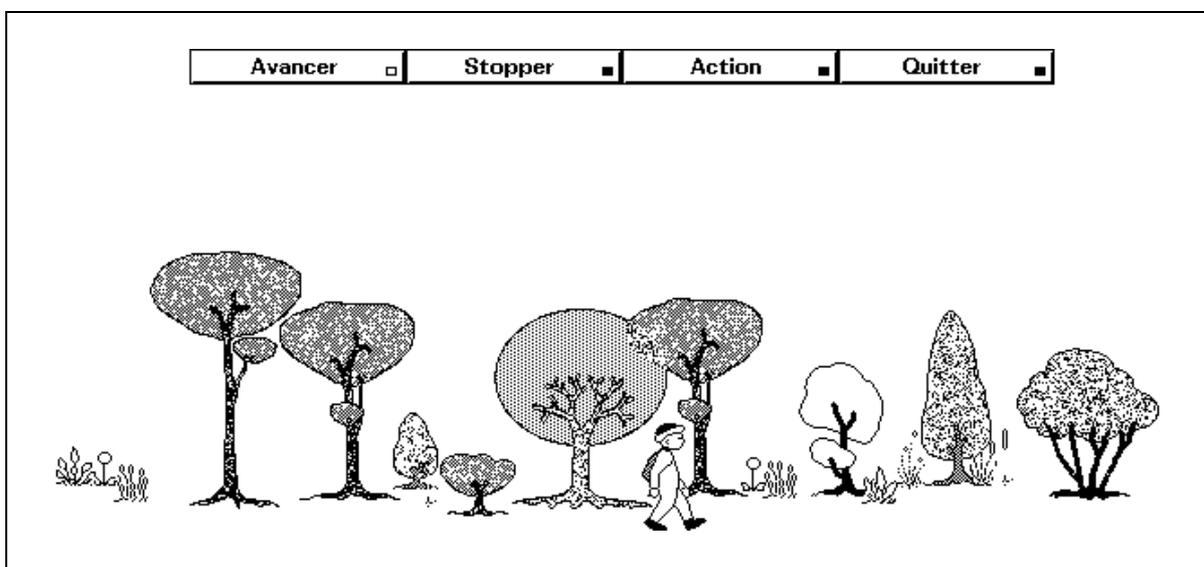
Un des secteurs de la carte a un statut particulier : c'est le "secteur courant", c.à.d. celui dans lequel vous êtes censé vous trouver vous-même. Il est indiqué sur la carte par un petit rectangle blanc.

Vous pouvez vous déplacer dans l'île (et donc changer le secteur "courant") à l'aide du bouton marqué de quatre flèches (en dessous du petit personnage) : Enfoncez ce bouton, et puis sélectionnez le secteur courant à l'aide de la souris ou des touches fléchées du clavier.

## **B. Exploration / Apprentissage.**

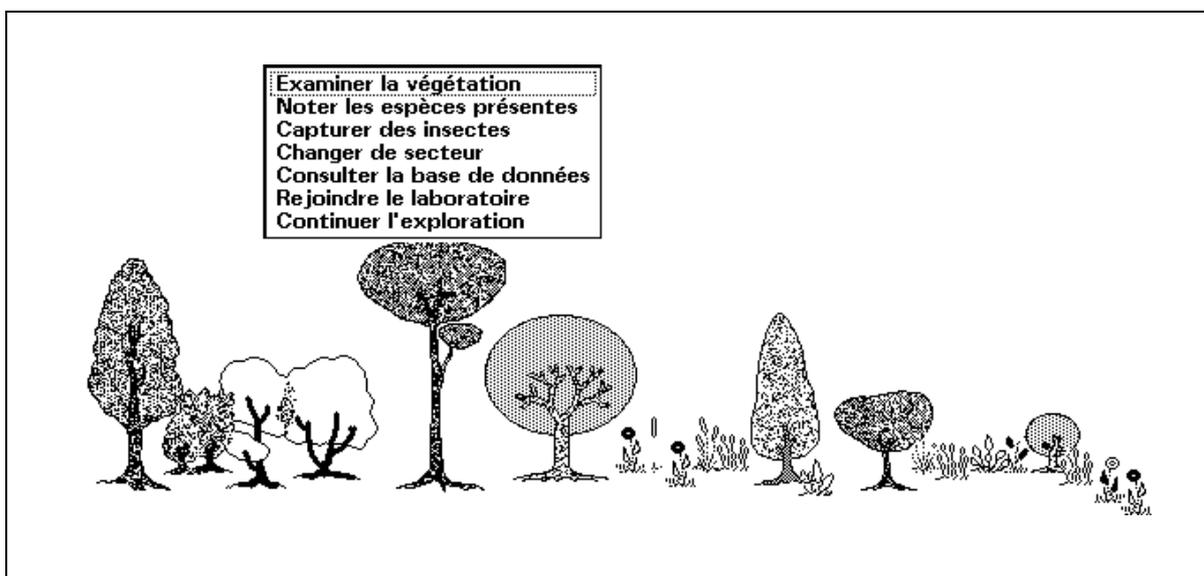
Le bouton marqué d'un petit personnage commande les fonctions d'exploration. Vous êtes littéralement projeté dans le secteur courant, dont un premier paysage apparaît. Vous pouvez à présent faire accomplir une série de tâches à votre homme de terrain. Si vous lui commandez d'avancer, par exemple, vous allez voir défiler différents "transects" effectués par lui dans le secteur.

S'il y a des oiseaux, vous les voyez passer de temps en temps.



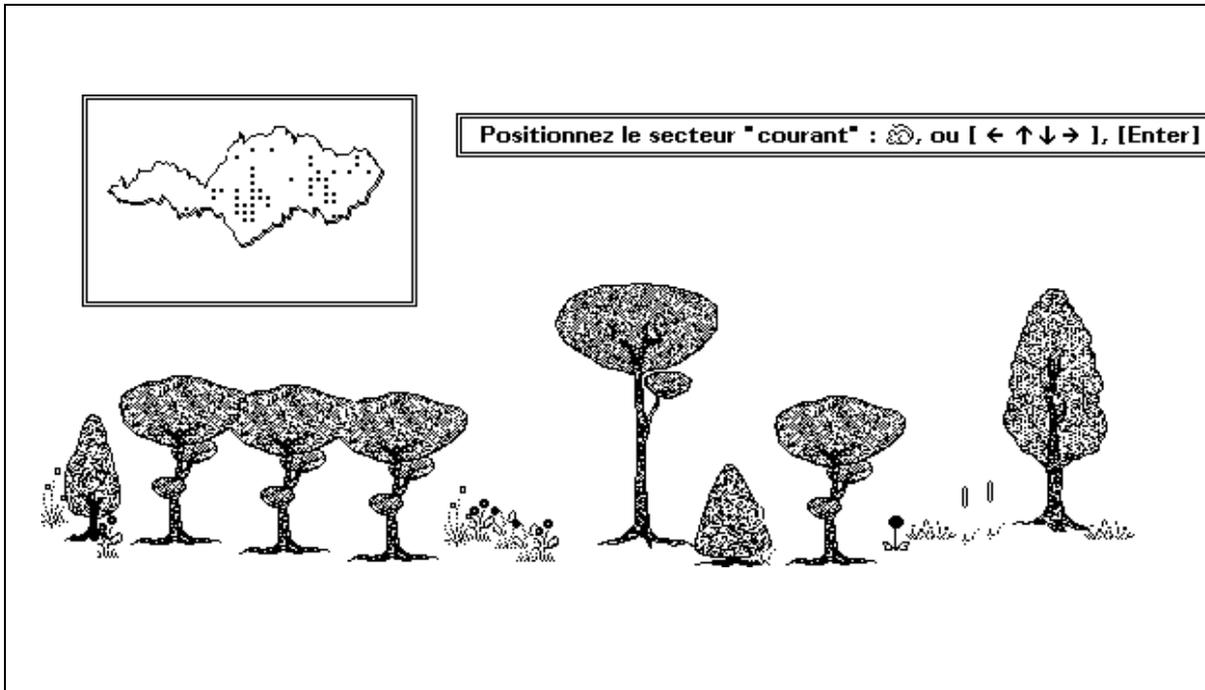
Quand vous aurez obtenu le feu vert pour entreprendre des travaux de gestion, vous pourrez aisément constater que la végétation présente dans un secteur particulier dépend de très nombreux facteurs.

A tout moment, vous pouvez arrêter votre explorateur, pour lui commander d'autres opérations. Un "menu" apparaît :



Les plus importantes des options présentées dans ce menu sont décrites dans les pages qui suivent.

**<Changer de secteur>** permet de déplacer l'explorateur à volonté dans l'île entière. Il est conseillé de le faire, pour pouvoir constater, par exemple, que la végétation varie d'un secteur à un autre.



En cours de simulation, quand l'évolution temporelle du système a été enclenchée, les paramètres particuliers à ce "secteur courant" sont mémorisés. Il est possible d'en obtenir alors une représentation graphique.

**<Continuer l'exploration>** fait défiler le paysage.

**<Rejoindre le laboratoire>** vous ramène au menu principal d'ECOJOB.

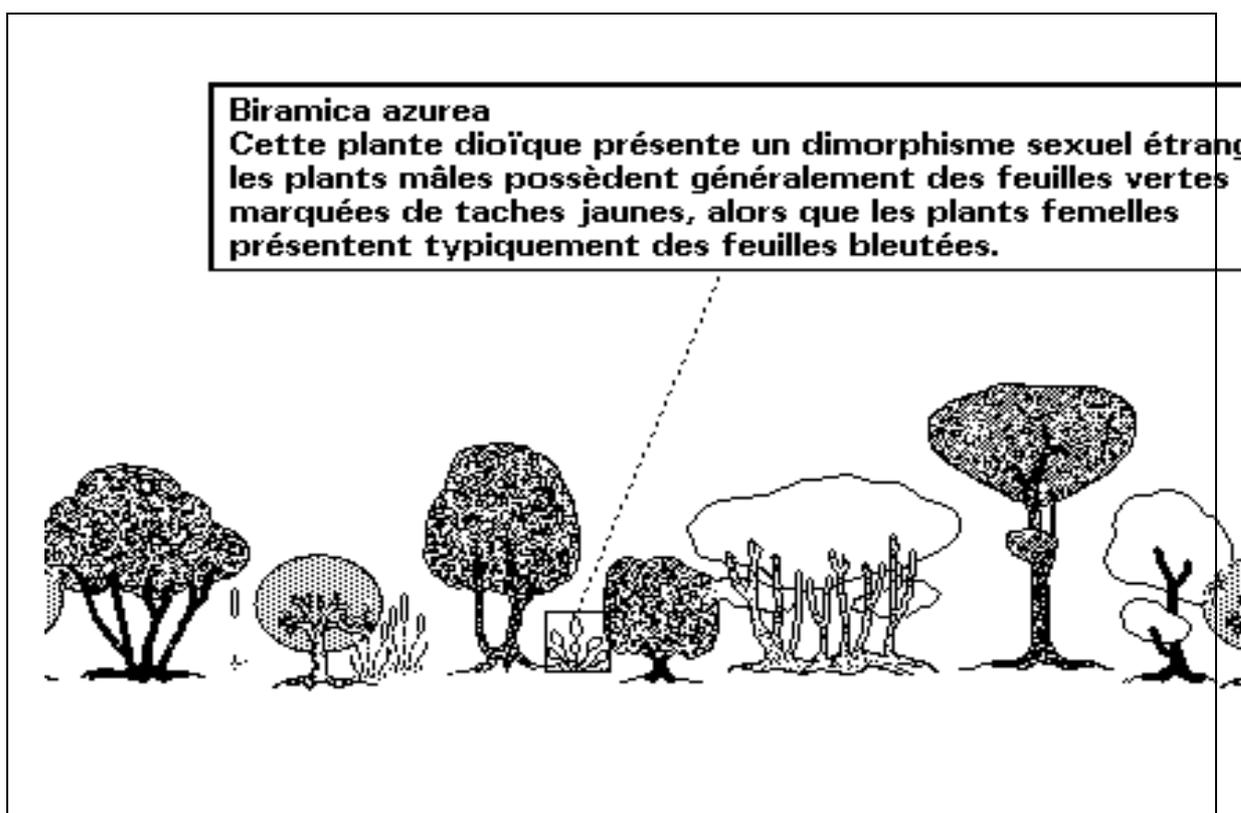
### 1. Examiner la végétation.

Après avoir activé cette option, vous êtes invité à pointer l'une des espèces du paysage à l'aide de la souris, ou bien à l'aide du clavier.

Notez qu'un cadre clignotant apparaît autour de l'espèce située le plus à gauche : il s'agit d'un index de sélection. Les touches fléchées [←] et [→] du clavier vous permettent de déplacer ce cadre jusqu'à l'espèce qui vous intéresse. Vous frappez alors [Enter], et l'espèce est "pointée".

A l'aide de la souris, l'opération est évidemment encore plus simple.

Chaque fois que vous pointez ainsi une espèce particulière, **ECOJOB** considère que vous l'examinez en détail. Quand vous aurez examiné un nombre suffisant d'espèces différentes, vous obtiendrez un brevet de systématicien en Botanique. C'est l'une des compétences que vous devez acquérir pour pouvoir contrôler la simulation.



**Note :** Les espèces représentées sont imaginaires, quoique inspirées d'espèces existantes. Les commentaires présentés sont donc un peu fantaisistes, mais ils contiennent des éléments d'information écologique qui sont autant d'**indices** destinés à vous aider à comprendre les nombreuses interactions pouvant exister entre les différentes composantes de l'écosystème. Il y a aussi quelques clins d'oeil !

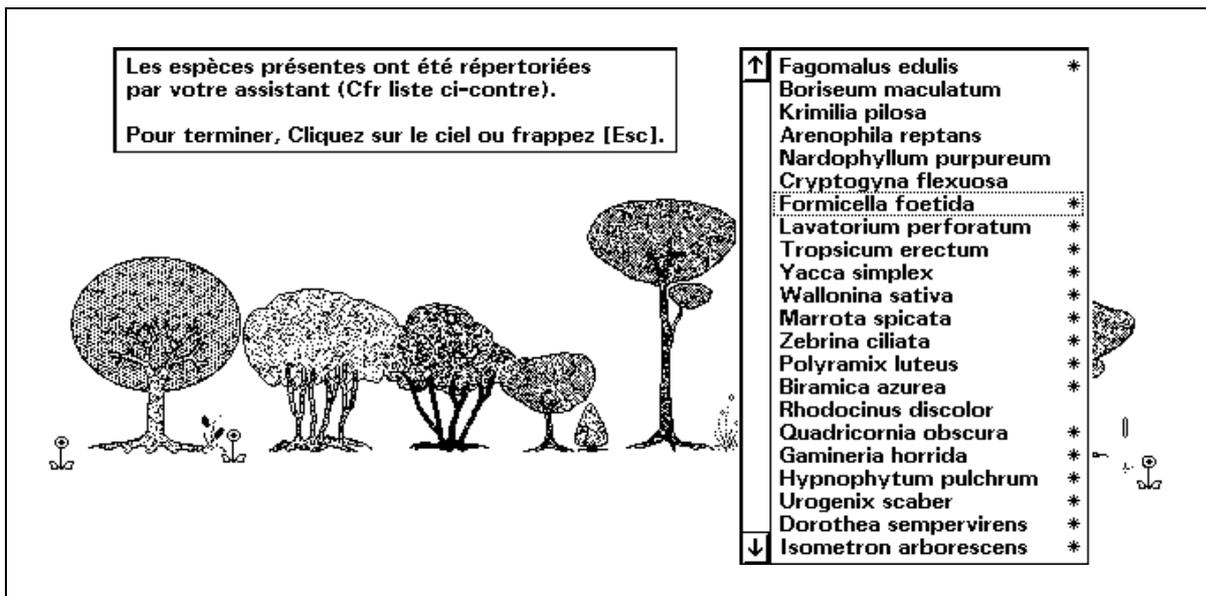
## 2. Noter les espèces présentes.

Cette option n'est accessible que si vous avez d'abord examiné (pointé) un nombre suffisant d'espèces différentes, dans un même secteur ou dans des secteurs différents.

## Ecojob

Une liste de noms scientifiques apparaît dans la partie droite de l'écran. Vous devez cocher dans la liste les espèces que vous avez identifiées dans le secteur en cours d'exploration. Pour ce faire, utilisez la souris, ou bien déplacez le cadre de sélection à l'aide des touches [↑] et [↓] jusqu'à ce qu'il recouvre le nom choisi, et puis frappez [Enter].

Notez au passage que la liste de noms présentée est "déroulante", ce qui signifie que vous n'en voyez qu'une partie à la fois.



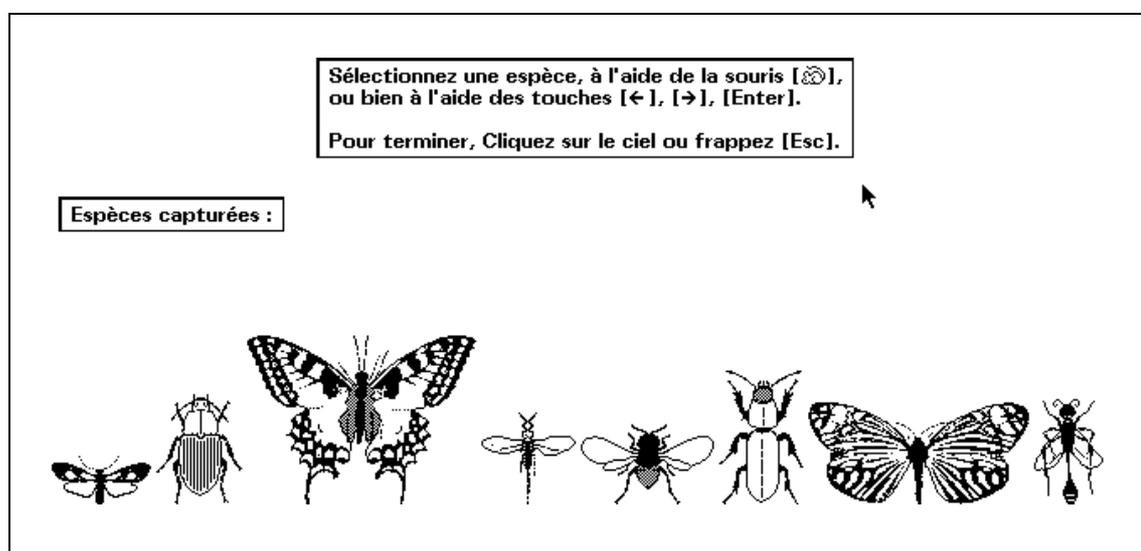
Pour voir le reste, il suffit de pointer l'un des boutons de défilement (marqué d'une flèche) à l'aide de la souris, ou bien de faire descendre le cadre de sélection jusqu'au bas de la liste affichée, et de continuer à frapper la touche [↓], comme si vous vouliez en dépasser la fin. L'ensemble des noms remonte alors ligne par ligne, et les noms suivants vous sont dévoilés. Vous pouvez aussi revenir en arrière avec la touche [↑].

Si vous effectuez consciencieusement ce travail - un peu fastidieux - au moins une fois, vous gagnez le concours d'un assistant qui le fera désormais à votre place. Cela constituera pour vous une aide très appréciable, lorsque vous entreprendrez plus tard l'étude du phénomène de **succession**. (Il vous faudra alors noter de nombreuses fois les espèces présentes dans un même secteur, au cours du temps qui passe).

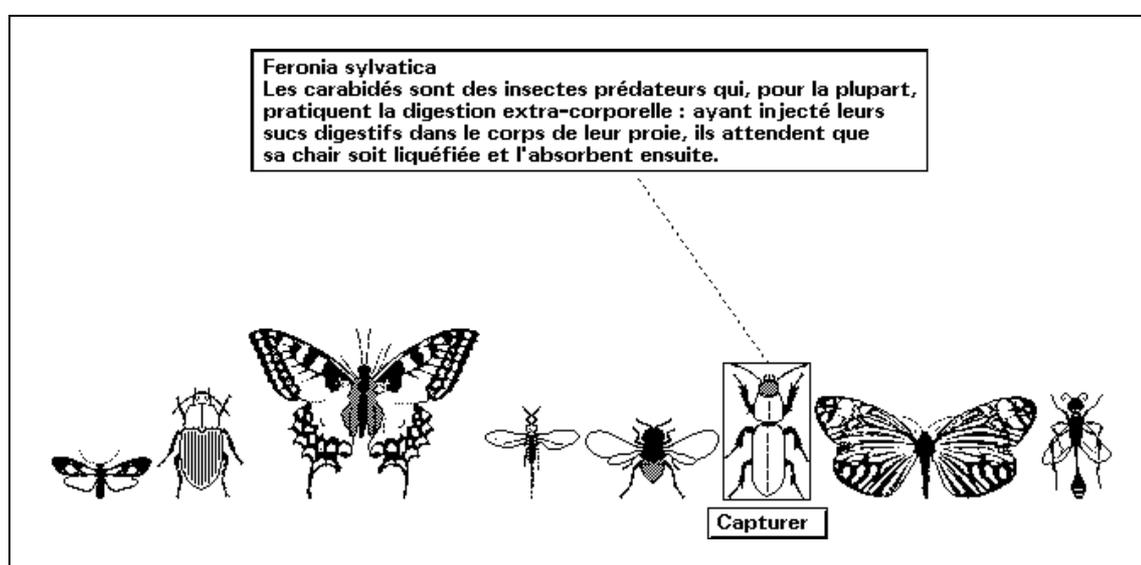
La liste de noms apparaît alors déjà pointée. Il vous suffit de frapper [Esc] pour la mémoriser.

### 3. Capturer des insectes.

Essayez à présent l'option "capturer des insectes".



La procédure à suivre pour sélectionner un dessin et obtenir son nom d'espèce ou la description correspondante est tout à fait semblable à celle qui est décrite pour les végétaux dans les pages précédentes.



Comme pour la végétation, vous devez acquérir une compétence de systématicien (entomologiste, cette fois) en examinant un nombre suffisant d'insectes. Le nombre d'espèces à examiner ici est cependant nettement plus réduit.

## Ecojob

---

Par contre, il vous est demandé de montrer aussi que vous êtes capable d'estimer l'effectif d'au moins une population d'insectes, à l'aide de la méthode de l'index de Lincoln. Pour ce faire, un bouton "Capturer" apparaît juste en-dessous de chaque espèce pointée.

**Note :** Pour actionner ce bouton à l'aide du clavier, il faut d'abord le sélectionner à l'aide des touches fléchées, et frapper ensuite [Enter].

Il s'agit d'une re-capture.  
Nombre total d'individus marqués et relâchés : 3087  
Nombre total d'individus capturés cette fois : 3442  
Nombre d'individus marqués recapturés : 111

Veillez calculer l'effectif probable à l'aide de la méthode de l'index Lincoln, puis sélectionnez ci-dessous la valeur trouvée :

Moins de 300  
Entre 300 et 900  
Entre 900 et 2700  
Entre 2700 et 8100  
Entre 8100 et 24300  
Entre 24300 et 72900  
Entre 72900 et 218700  
Entre 218700 et 656100  
Entre 656100 et 2 millions  
Plus de 2 millions

Capturer

Vous obtenez l'indication du nombre d'individus capturés. Si ce nombre est suffisant pour l'exercice (il en faut plusieurs centaines), notez-le.

Il est alors convenu que vous marquez ces insectes, et que vous les relâchez au hasard dans le secteur. Un peu plus tard, vous procédez à la capture d'un nouvel échantillon (de la même espèce).

Parmi les insectes capturés cette seconde fois, un certain nombre sont marqués, les autres pas. On peut alors raisonnablement supposer que la proportion d'individus marqués, dans ce petit échantillon de la population étudiée, doit être représentative de la proportion d'individus marqués dans l'ensemble de la population.

Ce qui revient à écrire :  $\frac{Nme}{Ne} = \frac{Nmt}{Nt} \cdot 1$ , avec :

**Nme** = Nombre d'individus marqués dans l'échantillon recapturé.

**Ne** = Nombre d'individus présents dans cet échantillon

**Nmt** = Nombre total d'individus marqués (capture précédente)

**Nt** = Nombre total d'individus dans la population étudiée.

Dans cette équation, la seule inconnue est **Nt**, l'effectif global de la population, qu'il est donc assez facile de calculer.

Il va de soi que cette méthode d'estimation de l'effectif d'une population n'est valable, que si un certain nombre de conditions sont réalisées.

Sur le terrain, elle se révèle souvent trop simpliste, et doit donc être perfectionnée, pour fournir des données véritablement significatives.

La méthode de l'index de Lincoln apparaît dans cette simulation comme un **exemple** des techniques utilisées par les écologistes de terrain, afin que l'utilisateur ne perde pas de vue les difficultés de ce travail.

Même la simple collecte de données numériques, dans un domaine aussi vaste et complexe que la Biologie, n'est pas une mince affaire.

Rentrons à présent au laboratoire. Cela nous ramène au menu principal.

#### **4. Compétence actuelle.**

Les opérations que vous effectuez correctement, au cours de la phase d'exploration et de découverte du programme, sont comptabilisées.

Vous arrivez ainsi progressivement à faire la preuve de votre compétence écologique. Quand cette compétence est jugée suffisante, dans un domaine particulier, **ECOJOB** vous décerne un brevet, qui vous autorise à utiliser les fonctions du logiciel relevant de ce domaine.

En attendant, ces fonctions ne sont pas activées, et elles vous apparaissent inaccessibles dans les menus du programme.

Vous pouvez voir la liste des principales qualifications à acquérir, en sélectionnant l'option **<Compétence actuelle>** du menu principal. Les compétences déjà acquises sont pointées d'un astérisque.

#### **5. Rapports d'exploration.**

Cette option du menu principal sera surtout utile pour étudier le phénomène de **succession** végétale. Elle vous permet de suivre en détail l'évolution de la végétation dans un ou plusieurs secteurs de votre choix, en fonction de la qualité du sol, d'opérations de gestion humaine, etc.

Rapport des explorations effectuées					
Année	Secteur	Bioma. F	Bioma. B	Q.Sol	Espèces végétales rencontrées :
4	299	0	272905	2	I.....HJNU..LTe...FGMSc.bQaK.dR
14	299	0	8	2	.....N...L...B...M.....
17	299	0	21	2	.....N...L...B...M.....
19	299	0	38	2	.....N...L...B...M.....
28	299	0	278	2	.....N...L...B...M.....
34	299	0	1827	2	.....N...L.e.B...M.....
38	299	0	7095	2	.....N...L.e.B...M.....
45	299	0	118631	4 +	...OD...N.E.L.e.B...MS...Q..CdR
48	299	0	263918	5 +	I.WO..HJNUE.LTe..UFGMSc.bQaK.dR
54	299	0	274858	5 +	I.WO..HJNU..LTeX.UFGMSc.bQaK.dR
58	299	0	276547	5 +	I.WO..HJNU..LTeX.UFGMSc.bQaK.dR
67	299	0	275463	5 +	I.WO..HJNU..LTeX.UFGMSc.bQaK.dR
72	299	0	162473	9 +	IPWOD.H.NUE...Te..UFGMSc.bQ..CdR
76	299	0	25044	9 +	.P.O...N.....e.B.....Q..C..
80	299	0	4184	9 +	.P.O...N.....e.B.....
84	299	0	984	9 +	.P.O...N.....e.B.....
88	299	0	446	6	.P.O...N.....B...M.....
92	299	0	1197	6	.P.O...N...L.e.B...M.....
97	299	0	6747	4	...O...N...L.e.B...M.....
100	299	0	28194	4	...O...N...L.e.B...M...Q..C..

Chaque fois que l'option **<Noter les espèces présentes>** est activée, au cours de l'exploration d'un secteur quelconque, **ECOJOB** mémorise l'année, le numéro de secteur, les biomasses, la fertilité du sol, et la liste des espèces végétales rencontrées. Ce sont ces informations que l'on récupère ici, sous une forme symbolique résumée.

## 6. Choix d'une autre île.

Il vous est possible de travailler dans une infinité d'îles différentes. La configuration initiale de l'île est définie aléatoirement en début de programme. L'évolution que vous allez observer est donc unique. Cela vous permet d'étudier une situation originale, indépendante de celle que peuvent observer vos condisciples travaillant sur d'autres ordinateurs.

Vous pouvez réinitialiser l'ensemble des paramètres de l'île en faisant appel à cette option. Toute la mémorisation correspondante est perdue. Voir à ce sujet la note du paragraphe 9, page suivante.

## 7. Changer le mode d'affichage.

Cette option n'est disponible que dans les anciennes versions **CGA** ou **EGA/VGA** du programme. Elle ne doit être utilisée que si l'image obtenue à l'écran vous paraît de qualité médiocre.

Avec un système vidéo compatible **EGA** ou **VGA**, vous avez le choix entre 2 résolutions graphiques différentes.

Si votre équipement vidéo est de type **CGA**, vous avez le choix de plusieurs palettes colorées différentes. Si votre moniteur **CGA** est monochrome, cherchez la palette qui donne le meilleur contraste.

## 8. Aide technique (bouton "???").

**ECOJOB** est pourvu d'un système de documentation, accessible à différents endroits du programme. La première page d'aide affichée est généralement fonction du contexte présent au moment où l'aide est demandée, mais il est toujours possible de faire défiler les pages précédentes ou suivantes.

Page 6 /16

↑ ■
↓ ■
Fin ■

**Signification des symboles affichés :**

Généralement, les **NOMBRES** affichés indiquent la biomasse végétale présente dans le secteur, en kilogrammes.

La biomasse des arbres fruitiers (F) apparaît en blanc.  
La biomasse des plantes sauvages (B) apparaît en vert.

Si vous avez demandé l'affichage des quantités de fruits récoltées dans chaque secteur, celles-ci sont symbolisées par des **LETTRES MAJUSCULES** : la place de la lettre dans l'ordre alphabétique indique l'importance relative de la récolte.

Valeurs approximatives :	Lettre	Masse de fruits (kg)
	A	1
	B	3
	C	8
	D	20
	E	55
	F	150

Le bouton **Aide** apparaît en haut et à droite de l'écran, quand l'aide est accessible en cours de programme.

## 9. Restauration état antérieur.

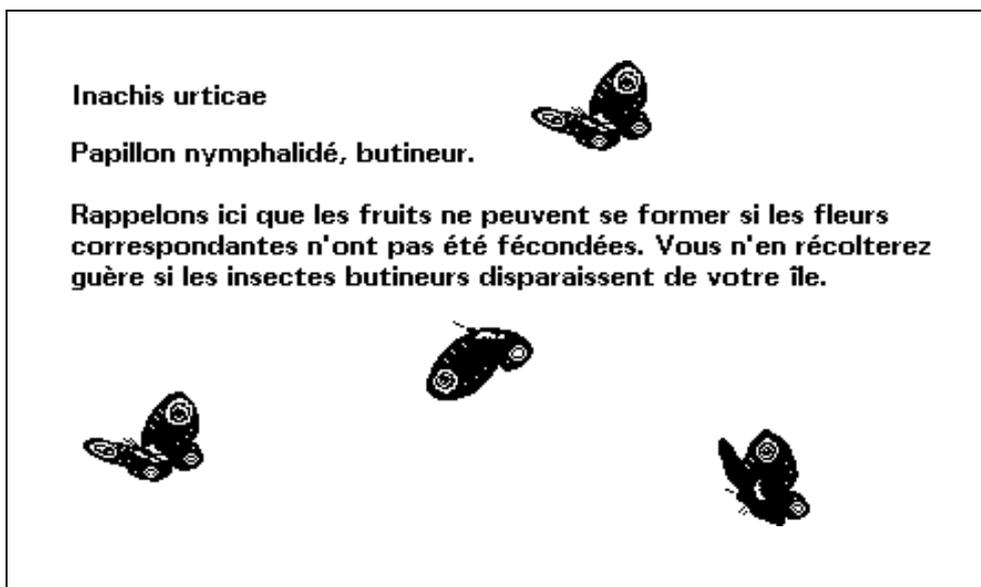
A la fin d'une séance de travail, **ECOJOB** mémorise la configuration de l'île, la situation présente dans chaque secteur, et même l'évolution déjà simulée (seulement les 200 dernières années, cependant). Tous ces paramètres sont sauvegardés sur disque.

Si vous désirez relancer le programme sur cette base mémorisée (lors de la séance de travail suivante, par exemple), il vous suffit d'activer cette option au menu principal.

**Note :** *Chaque fois que vous changez d'île, le programme est presque entièrement réinitialisé, et la mémorisation des événements produits durant les années de simulation est perdue. Si vous désirez conserver ces informations, il faut donc sauvegarder la situation présente avant de changer d'île, et choisir un autre nom de fichier pour les sauvegardes ultérieures.*

## 10. Insectes capturés (bouton "Coccinelle").

Le bouton marqué d'une petite coccinelle vous permet d'examiner le contenu des bocaux de capture qui apparaissent dans la fenêtre correspondante, en cours d'exploration.



Cette option du menu principal vous permet donc encore d'observer les insectes, mais avec animation, cette fois !

Pour que cela soit possible, il faut cependant que l'on ait au préalable capturé des insectes, ce qui a lieu automatiquement si l'on prend la peine d'examiner des insectes lors de l'exploration d'un ou de plusieurs secteurs.

Les insectes qu'il est possible de capturer dans un secteur particulier sont fonction des paramètres présents dans ce secteur. Si l'on se trouve dans un secteur dont les chenilles tordeuses sont absentes, par exemple, il est impossible d'en capturer. Vous devrez donc chercher des secteurs contaminés, pour avoir le droit de les voir. Ne vous acharnez pas à les trouver en début de travail. Quand vous serez autorisé à contrôler la simulation, vous pourrez facilement obtenir une carte de répartition de la contamination dans l'île, positionner votre observateur dans un secteur contaminé, et enfin capturer ces fameuses bestioles.

Ce qui est important, à cette occasion, c'est de comprendre la relation qui lie différents groupes d'insectes : Certains des bocaux de capture rapportés du terrain contiendront deux espèces à la fois. On pourra alors observer les principaux phénomènes de prédation et de parasitisme : les carabes attaquent et mangent les tordeuses, les ichneumons pondent leurs oeufs dans le corps des chenilles, lesquelles seront ensuite dévorées de l'intérieur par les larves.

#### Ichneumon barbara



**Les ichneumonidés parasites jouent un rôle très important dans la limitation des populations d'insectes ravageurs.**

**Les femelles pondent leurs oeufs dans le corps des chenilles, qui restent vivantes pendant un certain temps, et servent donc de nourriture vivante aux larves.**

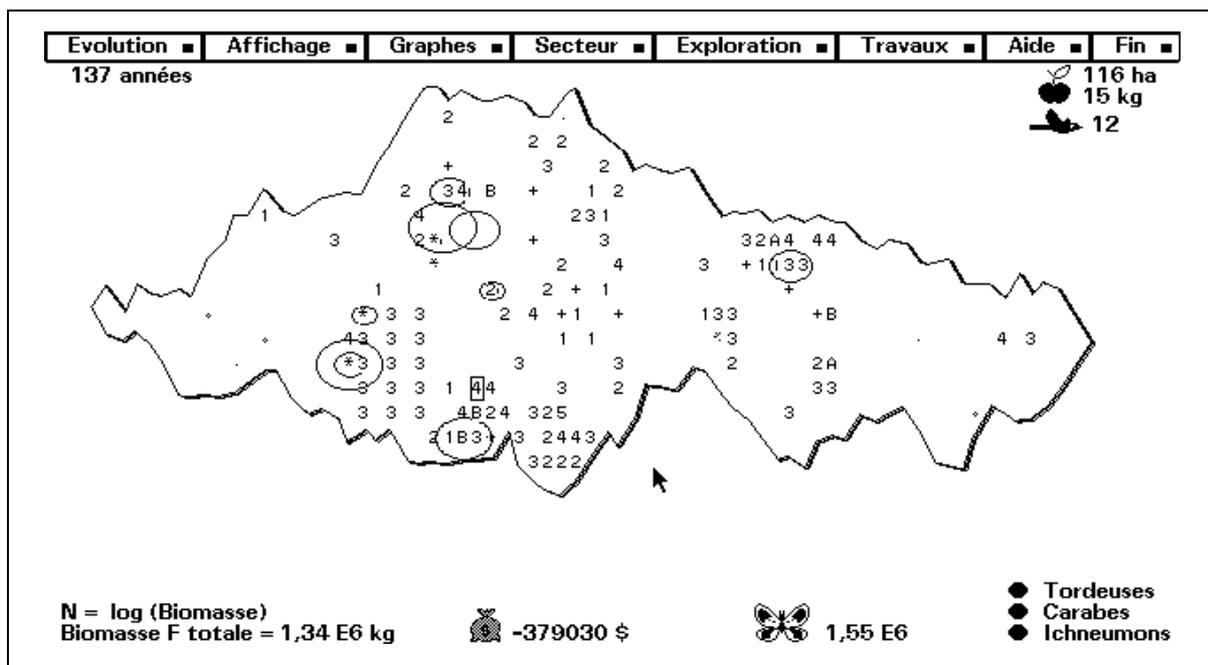


### C. Contrôle de la simulation.

Si vous avez effectué un travail de terrain suffisamment efficace, vous devenez gestionnaire de l'île, et êtes autorisé à prendre en main le contrôle de la simulation. Cela signifie que vous allez pouvoir :

- Mettre en route l'évolution temporelle de l'écosystème.
- Suivre l'évolution de cet écosystème, dans l'espace par une cartographie détaillée, et dans le temps par graphiques.
- Décider des travaux de gestion.

Enfoncez le bouton **<Contrôle de la simulation>** :



La disposition de l'écran est à présent assez différente : une carte de l'île en occupe toute la partie centrale. Dans le haut, une "barre de boutons" indique quelles fonctions sont devenues accessibles :

**Evolution** : Démarrage et arrêt de l'évolution temporelle.

**Affichage** : Choix des paramètres qui doivent apparaître sur la carte.

**Graphes** : Tracé des graphiques d'évolution de divers paramètres.

**Secteur** : Choix du secteur courant (dont l'évolution est suivie en détail).

**Exploration** : Exploration du secteur courant (voir le chap. précédent).

**Travaux** : Choix des travaux de gestion : défrichage, plantation, etc.

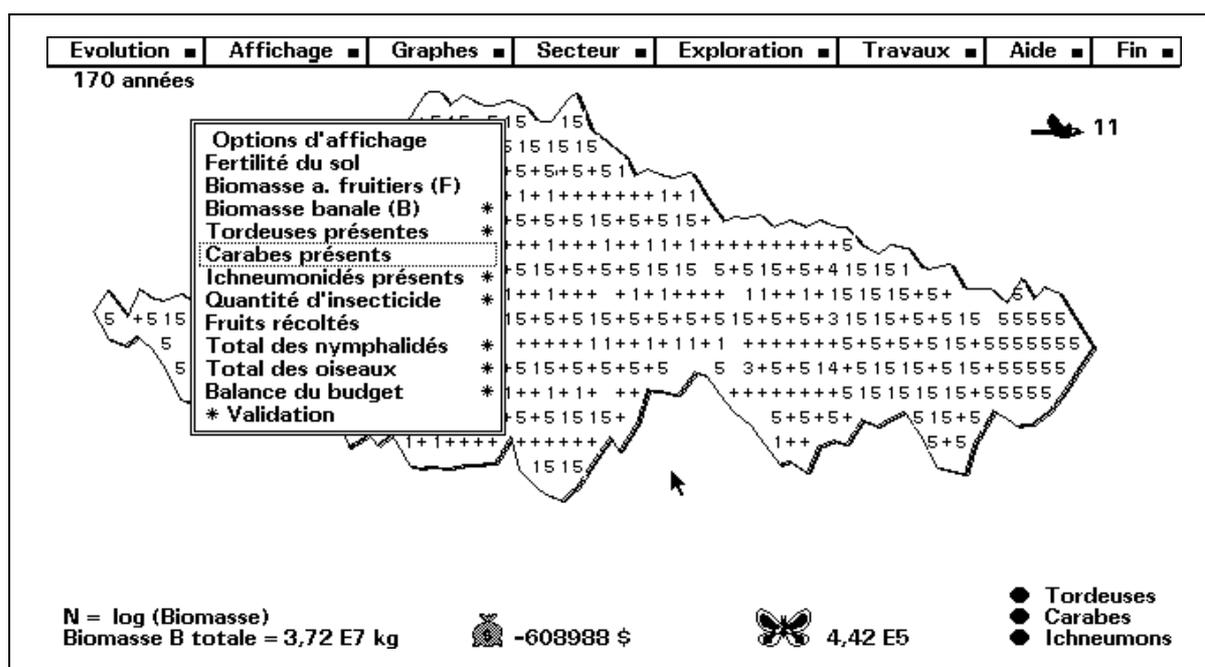
**Aide** : Accès aux informations techniques essentielles.

**Fin** : Retour au menu principal du programme.

Vous pouvez actionner ces boutons, soit à l'aide de la souris, soit à l'aide du clavier : dans ce cas, sélectionnez d'abord le bouton à l'aide des touches fléchées (Chaque bouton est muni d'un petit témoin d'activité qui passe au rouge quand le bouton est sélectionné), et puis frappez [Enter].

## 1. Options d'affichage.

Une fenêtre s'ouvre sur un nouveau choix d'options : ce sont tous les paramètres qui peuvent être affichés, secteur par secteur, sur la carte de l'île que vous avez devant vous.



Dans chaque secteur peuvent être suivis séparément :

- la richesse du sol en sels minéraux ("fertilité");
- la biomasse des arbres fruitiers;
- la biomasse végétale "sauvage" (c.à.d. celle de toutes les espèces végétales autres que l'espèce fruitière intéressante);
- la population locale de tordeuses;
- la population locale de carabes;

- la population locale d'ichneumons;
- la dose d'insecticide éventuellement épandue;
- la masse de fruits produits.

Tous ces paramètres peuvent être visualisés ensemble ou séparément. Vous sélectionnez (ou dé-sélectionnez) un paramètre, soit à l'aide de la souris, soit en amenant sur lui le cadre de sélection, et en frappant ensuite [Enter].

Un astérisque apparaît en regard de chaque paramètre sélectionné.

Pour terminer la sélection, vous pouvez :

- soit frapper [Esc] (touche d'échappement),
- soit sélectionner le dernier item : "Validation".
- soit "cliquer" (avec la souris) en un point quelconque de l'écran.

Vous pouvez donc sélectionner plusieurs paramètres à la fois.

Cependant, l'affichage simultané de nombreux paramètres sera peu lisible si vous ne disposez pas d'un moniteur couleur. Si votre moniteur vidéo est de type monochrome, il est préférable de n'afficher que peu de paramètres à la fois (un seul, même, dans la plupart des cas).

En cours d'évolution, l'affichage continu de nombreux paramètres ralentit légèrement l'exécution du programme.

**a. La fertilité du sol** (richesse en divers sels minéraux) est notée de manière très simplifiée, sur une échelle comportant dix niveaux seulement. Ces niveaux sont tout à fait arbitraires. Le modèle mathématique utilisé dans la simulation ne tient pas compte de la nature précise des sels minéraux présents dans le sol, mais distingue seulement des sols plus ou moins "fertiles" ou "riches".

C'est un petit pavé de couleur affiché au bas de chaque secteur qui indique pour ce secteur le niveau de qualité du sol. Une échelle colorée de référence est présentée dans la partie gauche de l'écran. Chacune des couleurs utilisées peut représenter deux niveaux proches. Pour obtenir une indication plus précise, il faut demander l'affichage de la fertilité **toute seule** (c.à.d. désactiver l'affichage simultané d'autres paramètres). Le système représente alors les dix niveaux de richesse du sol par des lettres minuscules.

**Note :** *Un sol peut contenir trop de sels minéraux. Dans ce cas, la végétationériclute. Les couleurs utilisées pour indiquer la présence d'une forte quantité de sels minéraux sont plus voyantes (orange, brun-rouge).*

**b.** Les **biomasses** végétales présentes dans chaque secteur, ainsi que les **effectifs** des populations d'insectes, sont affichés sous la forme de logarithmes (en base 10), chaque fois que cet affichage s'avère possible sans ambiguïté.

**Exemple** : Vous avez demandé l'affichage de la biomasse fruitière présente dans chaque secteur (et rien d'autre). L'apparition du chiffre 5 dans un secteur particulier signifie que la quantité de matière végétale présente dans ce secteur est de  $10^5$ , c.à.d. 100000 (kg).

La biomasse fruitière est affichée en blanc, la biomasse banale en vert, afin d'éviter les confusions.

Les quantités inférieures à 10 sont notées [+].

Si vous demandez l'affichage **simultané** des deux biomasses végétales intervenant dans le modèle, c'est le **rapport** de ces biomasses qui apparaît, sous une forme symbolique :

- Le symbole [!] signifie que la biomasse banale est plus importante que la biomasse fruitière dans le secteur.
- Le symbole [#] signifie que la biomasse fruitière est dominante.
- Le symbole [@] apparaîtra aussi dans certains secteurs, si vous avez demandé en plus l'indication de la présence de fruits.

**c.** Si vous demandez l'affichage des effectifs d'une seule espèce d'insectes (et rien d'autre), les nombres affichés concernent les effectifs des populations locales de cette espèce (sous forme de logarithmes).

**Si vous demandez l'affichage simultané de plusieurs paramètres**, les effectifs des populations locales apparaissent sous la forme de cercles colorés de différentes tailles. La couleur indique l'espèce présente, suivant un code rappelé en bas d'écran, à droite : rouge pour les chenilles tordeuses, violet pour les ichneumons, jaune pour les carabes.

**d.** Vous pouvez demander l'affichage des **quantités de fruits** récoltées dans chaque secteur. Ces quantités apparaîtront sous la forme de lettres majuscules.

La quantité récoltée est d'autant plus grande que la lettre affichée est située loin dans l'ordre alphabétique. [E] indique donc une quantité supérieure à [D], [D] une quantité supérieure à [C], etc. (Il s'agit en fait encore une fois de logarithmes, mais présentés autrement pour éviter les confusions avec d'autres paramètres).

Le symbole [/] indique la présence de l'arbre fruitier, mais sans fruits. Comme dans les autres cas signalés plus haut, la couleur du symbole affiché indiquera la présence éventuelle d'insectes divers.

Le symbole [x] indique la présence d'arbres fruitiers, morts.

**e.** Les quantités d'**insecticide** présentes dans chaque secteur peuvent également être visualisées.

Si vous demandez l'affichage de ce paramètre tout seul, les quantités sont indiquées par des lettres minuscules.

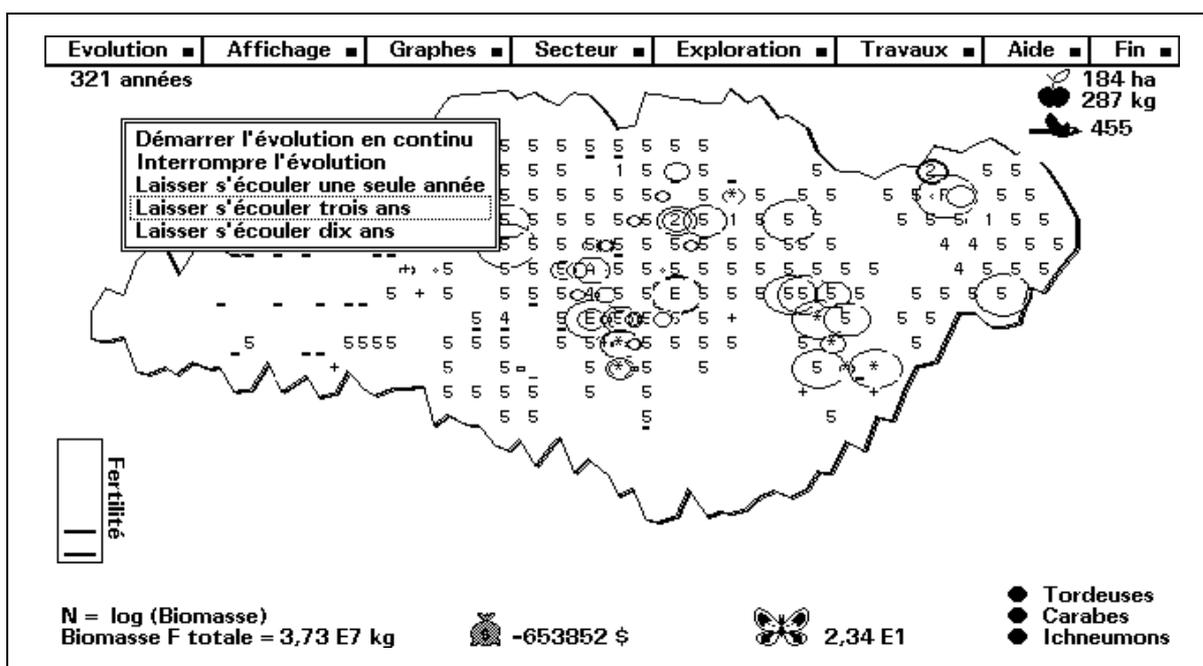
Dans tous les autres cas, l'indication des quantités d'insecticide prend la forme d'un petit trait vertical bleu clair situé dans la partie gauche du secteur considéré. La longueur de la ligne est proportionnelle à la quantité d'insecticide présente.

**Note :** *En cours de travail, vous pouvez faire apparaître à l'écran l'essentiel des informations exposées ci-dessus en activant l'aide technique (Bouton "Aide").*

## 2. Contrôle de l'évolution.

A la mise en route du logiciel, l'écosystème n'évolue pas.

Pour faire véritablement démarrer le modèle mathématique complexe qui constitue le coeur d'**ECOJOB**, il faut enfoncer le bouton "Evolution" et choisir l'une des options proposées ensuite :



L'évolution temporelle de l'écosystème est calculée sur base d'une périodicité de six mois (une demi-année). Comme déjà signalé plus haut, certains paramètres évoluent séparément dans chaque secteur :

- biomasses fruitière et banale, masse de fruits récoltée;
- populations de chenilles tordeuses, de carabes et d'ichneumons;
- qualité du sol, présence éventuelle d'insecticide.

D'autres paramètres sont suivis globalement, pour l'ensemble de l'île : populations d'oiseaux et de butineurs, par exemple.

Les saisons ne sont pas prises en compte, mais bien le phénomène de succession végétale.

Au fur et à mesure du progrès de la simulation, on peut suivre la modification des divers paramètres sur la carte de l'île.

Diverses espèces végétales se font concurrence pour occuper les terres disponibles; les insectes et les oiseaux cherchent leur nourriture, se multiplient quand celle-ci est abondante, périssent quand elle fait défaut ou quand les prédateurs les trouvent, etc.

Suivant le type de moniteur dont vous disposez, choisissez judicieusement les options d'affichage, de manière à pouvoir suivre au mieux l'évolution des divers paramètres qui vous intéressent. Si vous disposez d'un moniteur capable d'afficher des images en couleurs, vous pouvez suivre de nombreux paramètres en parallèle (voir paragraphe précédent).

L'évolution de chaque secteur conditionne celle des secteurs voisins et est conditionnée par elle : des immigrations et émigrations peuvent se produire, si les conditions existant dans les secteurs contigus sont favorables ; des graines peuvent se disperser, les taux de reproduction de plusieurs espèces dépendent de la diversité végétale présente ; la qualité du sol change.

Diverses activités de gestion peuvent être programmées (voir plus loin).

### **3. Graphiques.**

Quand la simulation a commencé, on peut obtenir le tracé de graphiques, représentant l'évolution temporelle des principaux paramètres de l'écosystème, pour l'île entière, et aussi pour le secteur "courant".

Choisissez les paramètres dont vous voulez observer l'évolution. Si votre équipement vidéo est de type **EGA** ou **VGA**, et surtout si vous disposez d'un moniteur couleurs, vous pouvez les sélectionner tous, d'office.

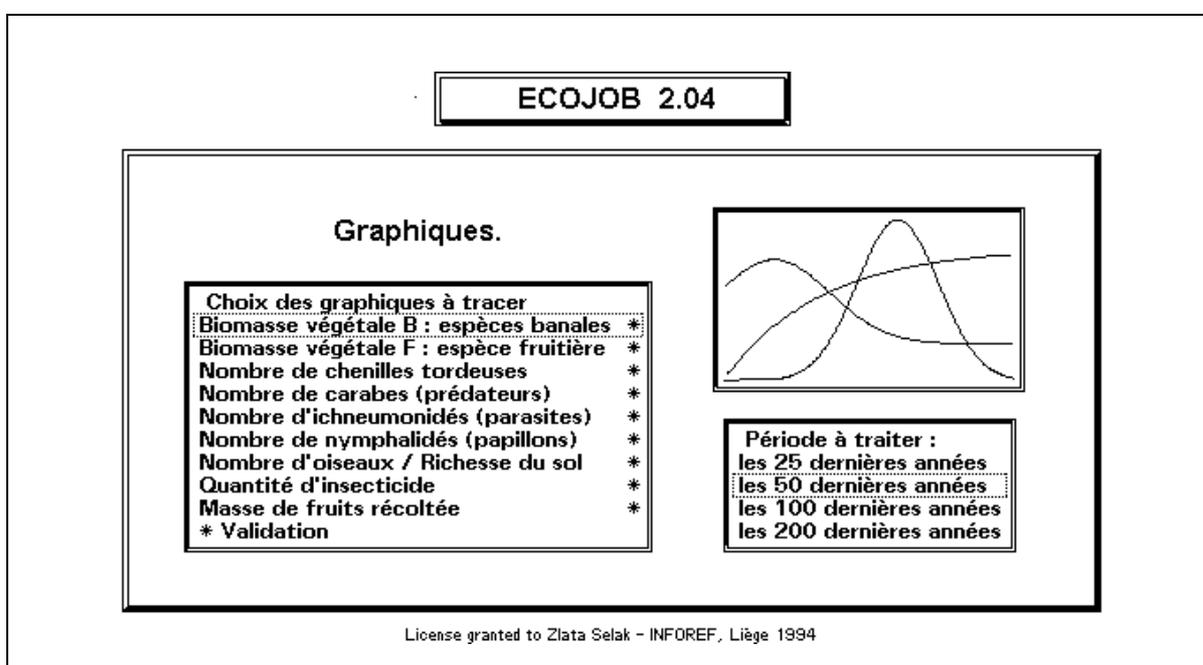
Si votre équipement est de type **CGA**, par contre, il vaut mieux limiter le nombre de paramètres à visualiser : vous n'en verrez que trois simultanément, de toute façon.

**ECOJOB** mémorise jusqu'à 200 années d'évolution.

Vous pouvez choisir de n'afficher qu'une période plus courte, si vous craignez que l'image tracée à l'écran ne soit trop embrouillée.

Vous pouvez afficher tous les graphiques ensemble (sauf version CGA).  
En effet, vous les distinguerez aisément :

- Tout de suite, si votre moniteur vidéo permet la couleur : les tracés correspondant aux différents paramètres apparaissent en couleurs différentes.
- En enfonçant le bouton [Flash], si votre moniteur est du type monochrome. Cette option vous aide à distinguer chacun des graphiques sans difficulté, dans le cas d'une image monochrome. Elle provoque le clignotement simultané de l'un des tracés et de la légende correspondante. Si vous frappez ensuite l'une des touches fléchées, un autre tracé se met à clignoter à son tour, et ainsi de suite.

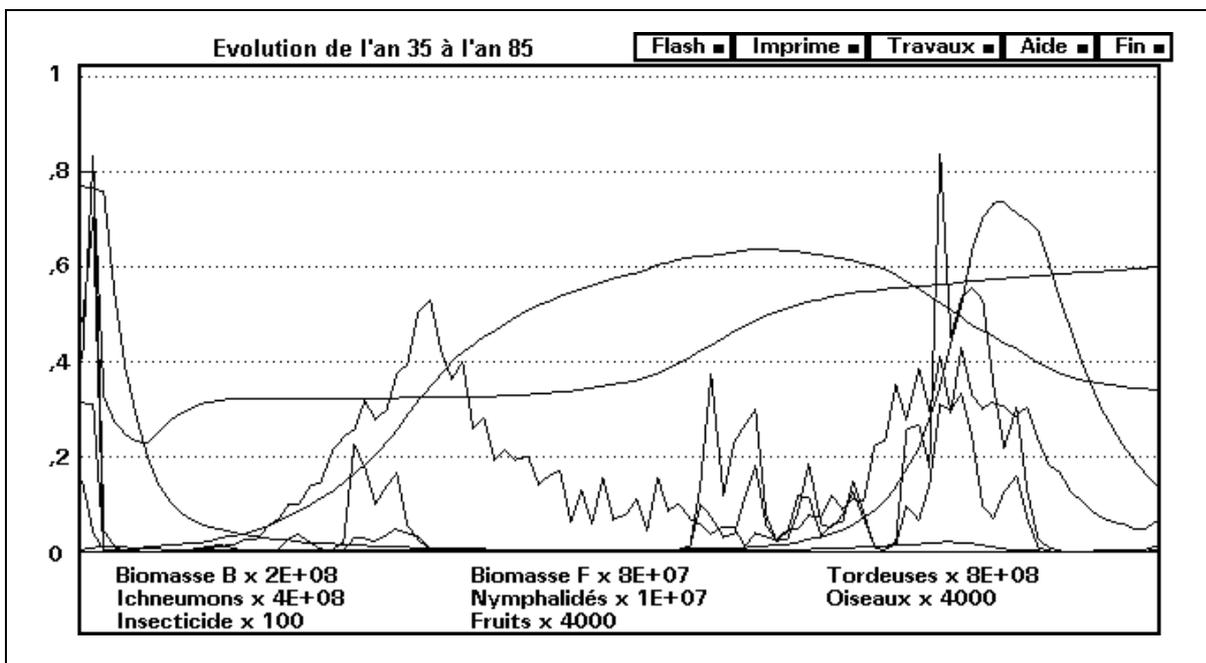


Si votre équipement vidéo est de type **CGA**, vous ne verrez jamais plus de trois tracés simultanément. Quand vous demandez l'affichage d'un plus grand nombre de graphiques, ils vous sont présentés trois par trois, les uns à la suite des autres. La faible résolution de l'image **CGA** ne permet guère mieux.

**Notes :**

a. L'axe des abscisses (axe des temps) est commun à tous les tracés: son échelle est recalculée dans chaque cas de manière à exploiter toute la largeur de l'écran. La période traitée est indiquée en haut.

L'axe des ordonnées est gradué de 0 à 1. L'échelle utilisée est évidemment différente pour chaque graphique. Il faut donc multiplier les valeurs numériques lues sur le tracé, par le coefficient accompagnant la légende correspondante.

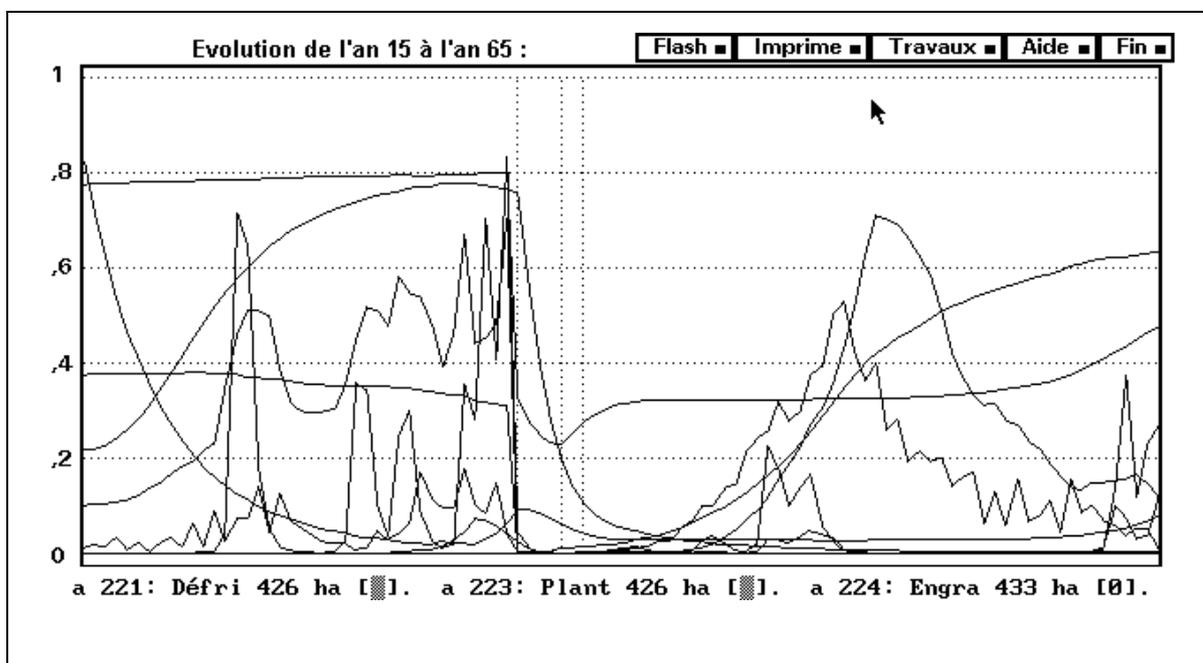


b. En actionnant le bouton [Print], vous pouvez imprimer les graphiques affichés, à condition qu'une imprimante soit connectée, bien entendu, et que le programme ait été correctement installé. (Consultez pour cela les considérations techniques, au chapitre suivant). Le tracé des différents graphiques sera imprimé sous la forme de très petits caractères typographiques, différents pour chaque courbe, qu'il suffira ensuite de relier par un trait de couleur.

c. Vous pouvez obtenir sous les graphiques l'affichage d'un résumé de toutes les activités de gestion déjà entreprises dans l'île, et repérer sur les graphiques eux-mêmes l'instant où ces travaux ont été commandés.

Pour ce faire, actionnez le bouton [Travaux].

Le résumé des travaux entrepris est affiché en bas d'écran sous une forme condensée, à la place des légendes des graphiques :



Les abréviations suivantes sont utilisées, dans l'ordre :  
Année, Type de travail, Aire traitée, Patron de répartition spatiale.

Exemple : a 027 Defri 137 ha [ : ]

Pour le patron de répartition, les symboles suivants sont utilisés :

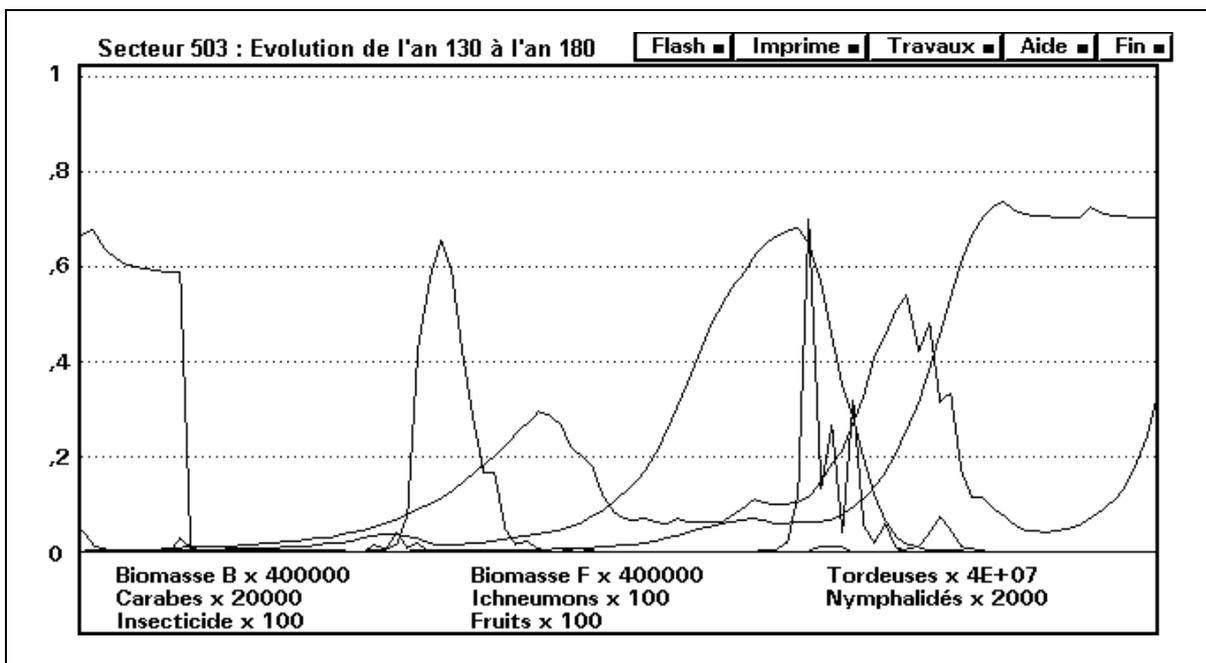
- [•] traitement d'une surface uniforme
- [•] traitement de bandes de terrain parallèles
- [X] traitement d'un secteur sur deux, en damier
- [=] traitement de zones séparées, de 4 ha chacune
- [ : ] traitement de secteurs isolés
- [%] débroussaillage
- [ / ] annulation (Chasse, épandages)

Dans le cas des épandages d'engrais ou d'insecticide, l'indication du patron de répartition peut être remplacée par un nombre, qui rappelle alors la périodicité de ces épandages (en années).

Les "Patrons" de répartition spatiale des travaux sont ceux qui vous sont proposés quand vous entreprenez ces travaux (voir plus loin).

Vous pouvez aussi obtenir un affichage un peu plus explicite de ces mêmes informations, en faisant appel à l'option "Mémo." du menu des travaux de gestion (Voir plus loin).

Après ceux de l'île entière, vous obtenez les graphiques représentant l'évolution des paramètres locaux pour le secteur "courant".



Plusieurs remarques s'imposent encore :

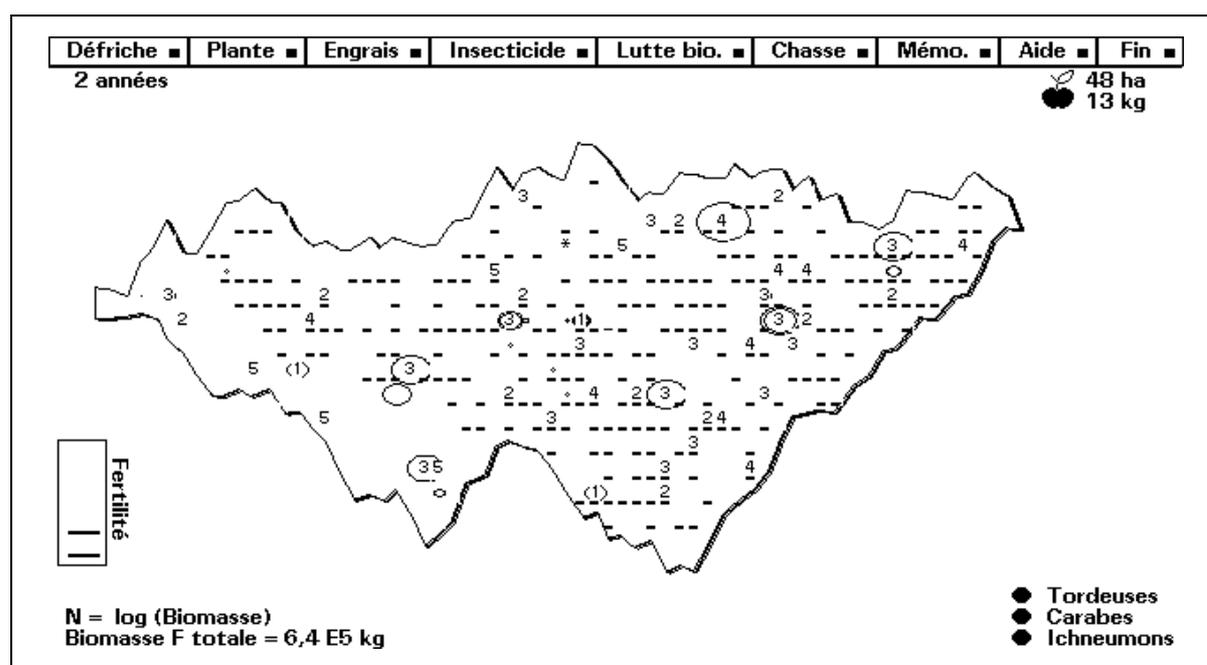
- Pour chaque demi-année de simulation, **ECOJOB** mémorise la valeur des paramètres observés dans le secteur "courant". Ce qui se passe dans les autres secteurs n'est pas mémorisé. En conséquence, si vous avez changé de secteur courant en cours de simulation, il peut se faire que les graphiques présentent des discontinuités, avec des fragments successifs correspondant à plusieurs secteurs différents.
- Les paramètres <Nombre de nymphalidés> et <Nombre d'oiseaux> ne sont pas traités séparément pour chaque secteur. Par conséquent,

- Le graphique représentant l'évolution du nombre des nymphalidés est le même que celui qui correspond à l'île entière. Seule l'échelle est différente : ce qui est affiché est donc une moyenne.
- L'évolution du nombre d'oiseaux n'est pas affichée. Un graphique représentant l'évolution de la fertilité du secteur prend sa place.

#### 4. Travaux de gestion.

C'est en sélectionnant cette fonction que vous accédez au coeur de la simulation proprement dite. Vous allez pouvoir décider une multitude d'actions et tester leur effet sur l'écosystème.

La carte de l'île est redessinée, et une nouvelle "barre de boutons" apparaît en haut de l'écran.



Votre objectif premier est donc de récolter un maximum de fruits pour un investissement minimum. Vous investissez une certaine somme d'argent dans des travaux (vous devez payer le personnel chargé de les accomplir, ainsi que les fournitures), et vous espérez évidemment que ces travaux se révéleront rentables. Vous lancez donc la simulation, et observez les résultats de votre stratégie de gestion, sur la carte de l'île et les graphiques. En fonction de ces résultats, vous formulez de nouvelles hypothèses, commandez d'autres travaux, et ainsi de suite ...

## Ecojob

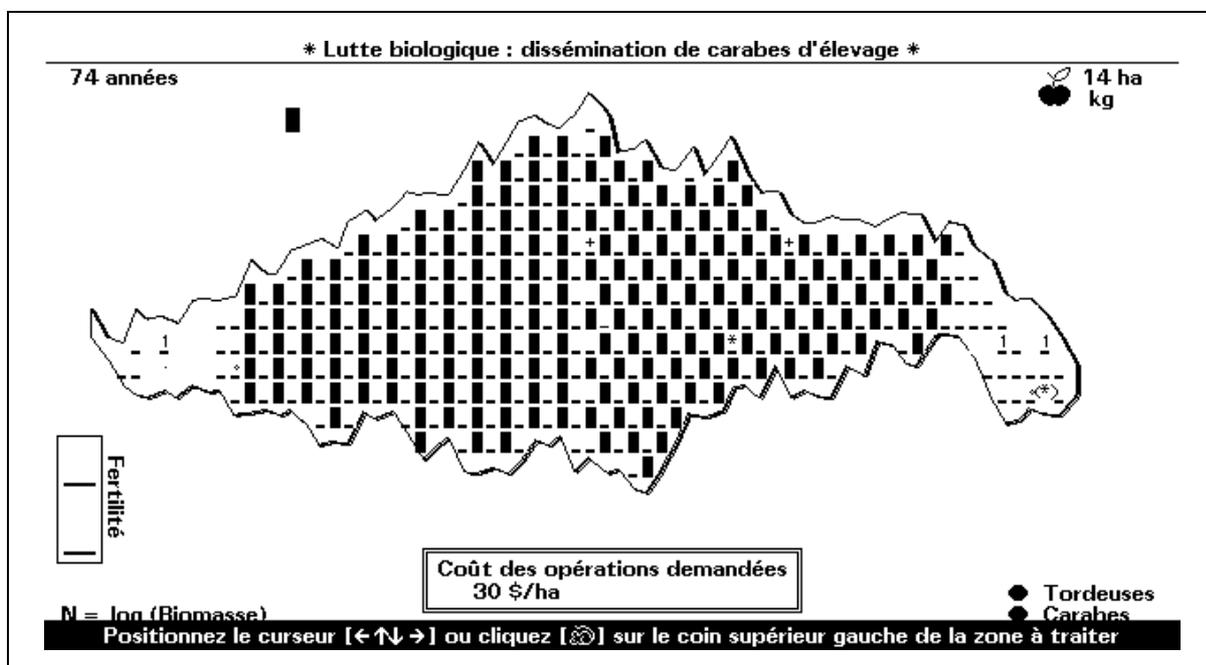
Vous souhaitez probablement commencer par défricher une certaine étendue de terrain, y planter des arbres fruitiers, éventuellement épandre de l'engrais, de l'insecticide, etc. Il vous faudra cependant répéter ces mêmes actions dans un assez grand nombre de secteurs de l'île, répartis d'une manière raisonnée sur une certaine superficie. Ce travail pourrait assez vite se révéler fastidieux.

Afin d'éviter cela, **ECOJOB** vous propose un certain nombre de facilités qui vont vous permettre d'obtenir le plus aisément et le plus rapidement possible ce que vous voulez, en limitant au maximum les opérations nécessaires, au départ du clavier où à l'aide de la souris.

### 5. "Patrons" de répartition spatiale des travaux.

Quand vous commandez un certain travail (le défrichage, par exemple) vous avez à votre disposition plusieurs schémas de répartition des secteurs de l'île où ce travail doit être accompli.

Vous choisissez l'une des propositions qui vous sont faites, puis vous positionnez un curseur, d'abord sur le coin supérieur gauche, ensuite sur le coin inférieur droit de la zone que vous voulez traiter ainsi. Le programme se charge de trouver automatiquement les secteurs visés.



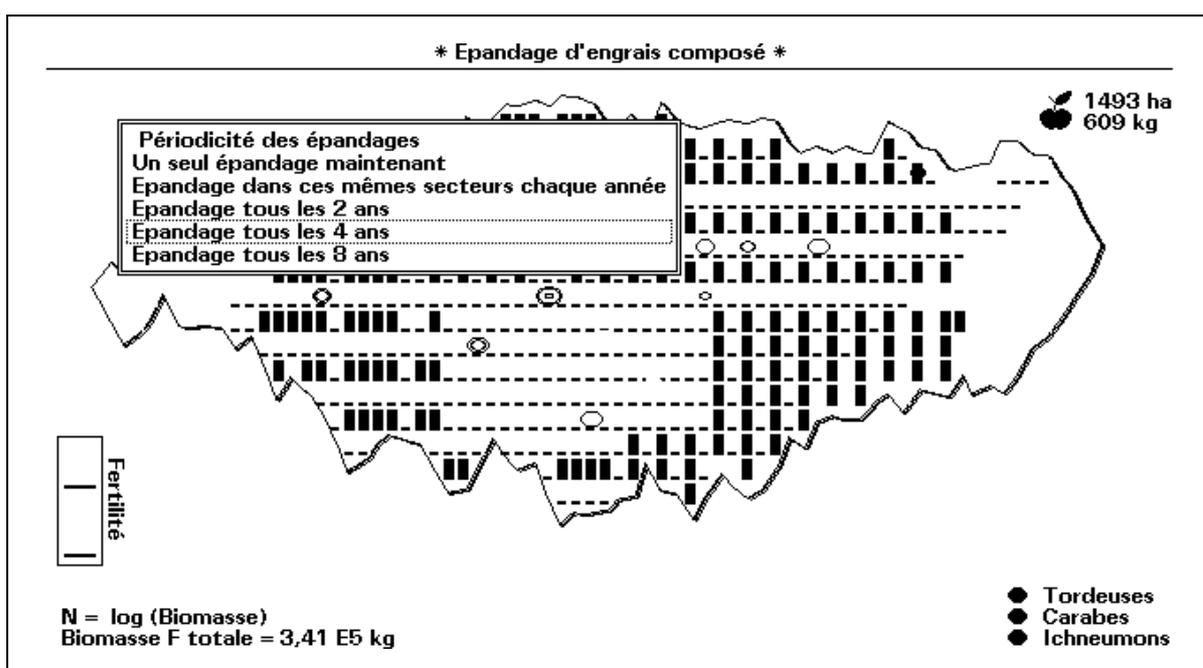
La figure ci-dessus montre l'application de ce principe à l'épandage de carabes d'élevage suivant deux patrons de répartition différents pour les deux moitiés de l'île.

A gauche, on a utilisé le patron <En bandes parallèles>, et à droite, <Traitement d'un secteur sur 2, en damier>.

Pour des travaux concernant plus spécifiquement les plantations déjà existantes, comme le débroussaillage, l'épandage d'engrais ou d'insecticide, vous pouvez aussi obtenir que ces travaux soient automatiquement accomplis, seulement dans les secteurs où se trouvent effectivement des plantations.

## 6. Programmation des travaux dans le temps.

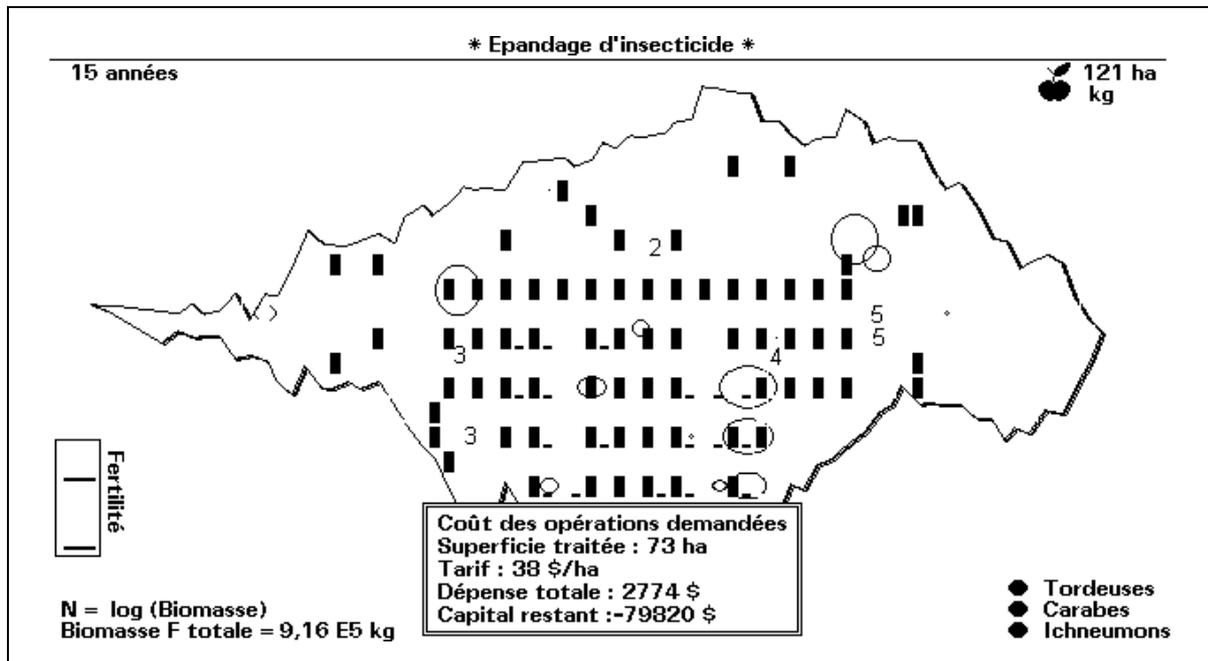
L'épandage d'engrais, l'épandage d'insecticide, la lutte biologique par dispersion de carabes d'élevage dans les plantations, peuvent être automatiquement répétés au cours du temps, avec la périodicité de votre choix. Sélectionnez celle qui vous convient. Vous pourrez par la suite annuler cette programmation si vous le désirez.



### Notes :

- Il n'est pas possible de définir plusieurs programmations différentes pour un même type de travail, dans des zones distinctes de l'île, par exemple. Toute nouvelle programmation annule automatiquement la précédente.
- De même que les travaux entrepris, les programmations mises en oeuvre sont archivées. On peut en obtenir la liste à l'aide de la fonction "Mémo" décrite plus loin.

Chaque type de travail est tarifé, et vous êtes averti du débours :



## 7. Plans de chasse.

Les oiseaux constituent une des richesses secondaires de l'île.  
Vous pouvez instaurer les règlements suivants pour leur capture :

- Pas de capture du tout (la chasse est interdite).
- Plan de chasse A :  
Dès que l'effectif des oiseaux dépasse la valeur de 200 unités, leur capture est autorisée au taux de 10 %.
- Plan de chasse B :  
Dès que l'effectif des oiseaux dépasse la valeur de 200 unités, leur capture est autorisée au taux de 20 %.
- Plan de chasse C :  
Dès que l'effectif des oiseaux dépasse la valeur de 200 unités, leur capture est autorisée au taux de 40 %.

Les chasseurs vous paient une redevance pour chaque oiseau capturé.  
Les oiseaux sont prédateurs de tous les insectes. Ceux-ci se multiplient donc beaucoup si les oiseaux sont absents. Par contre, une population excessive d'oiseaux risque de faire disparaître certains insectes fort utiles, notamment des papillons butineurs (nymphalidés).

## **8. Lutte biologique.**

Il existe de nombreuses techniques de lutte contre les ravageurs : le choix judicieux des zones de plantation, par exemple, qui peut favoriser ou contrarier suivant le cas la dispersion des insectes, constitue l'une des plus importantes.

Il y a aussi des moyens de lutte plus spécifiquement biologiques : utilisation de pièges attractifs enduits d'une phéromone sexuelle, dispersion de mâles stériles de l'espèce nuisible, utilisation de microorganismes pathogènes, etc.

Ces méthodes sont très diverses, et elles font l'objet de nombreuses recherches. Ce sont elles que l'on désigne globalement sous l'appellation de "Lutte biologique".

**ECOJOB** en propose une seule, qui consiste à lâcher dans les plantations l'un des prédateurs naturels du ravageur dont on veut limiter les pullulations.

Vous pouvez donc disposer de carabes d'élevage, que vous dispersez dans l'île suivant la répartition spatiale et temporelle de votre choix, comme vous le faites pour les autres travaux de gestion.

## **9. Mémorisation des travaux entrepris.**

L'option "Mémo.", proposée au menu des travaux de gestion, vous permet de vous rappeler aisément quels travaux ont déjà été entrepris.

Seront ainsi rappelés :

- Le type de travail.
- L'année de son exécution.
- Le patron de répartition spatiale utilisé, représenté par l'un des symboles suivants :

[•] traitement uniforme, sur toute la surface

[•] traitement en bandes parallèles.

[x] traitement d'un secteur sur 2, répartis en damier.

[ = ] traitement de zones isolées, chacune de 4 ha.

[ : ] traitement de secteurs isolés.

- La périodicité programmée, s'il y a lieu.
- La dose d'insecticide épandue.
- L'instauration de plans de chasse.
- Les débroussaillages, représentés par le symbole [ % ].
- Les annulations de programmation, qui sont notées [ / ].

**Travaux de gestion déjà réalisés :**

Année	Type de travail	Surface	Patron	Périodicité	Dose
a 011	: Défrichage / Débroussaillage	030 ha	[ % ]		
a 041	: Epandage d'engrais composé	028 ha	[ = ]	4 années	
a 070	: Epandage d'engrais composé	028 ha	[ : ]	1 année	
a 085	: Epandage d'engrais composé	000 ha	[ / ]	Annulation	
a 136	: Défrichage / Débroussaillage	154 ha	[ % ]		
a 136	: Plantation d'arbres fruitiers	154 ha	[ = ]		
a 137	: Epandage d'engrais composé	154 ha	[ : ]	4 années	
a 140	: Dissémination de carabes	036 ha	[ : ]	2 années	
a 222	: Epandage d'insecticide	113 ha	[ = ]	2 années	1000 g/ha
a 226	: Instauration d'un plan de chasse		[ B ]		
a 234	: Défrichage / Débroussaillage	036 ha	[ = ]		
a 235	: Plantation d'arbres fruitiers	036 ha	[ = ]		
a 237	: Epandage d'engrais composé	150 ha	[ = ]	4 années	
a 248	: Dissémination de carabes	000 ha	[ / ]	Annulation	
a 260	: Instauration d'un plan de chasse		[ / ]	Annulation	
a 272	: Défrichage / Débroussaillage	060 ha	[ X ]		
a 273	: Plantation d'arbres fruitiers	064 ha	[ X ]		
a 282	: Epandage d'insecticide	000 ha	[ / ]	Annulation	1000 g/ha
a 290	: Défrichage / Débroussaillage	184 ha	[ % ]		

**Note :** Il est également possible d'obtenir un résumé de ces informations, quand les graphiques sont affichés (Veuillez consulter pour cela les paragraphes précédents).

## **IV. Exemple d'utilisation du logiciel.**

Les pages qui suivent racontent une brève expérience de gestion effectuée à l'aide d'**Ecojob**. L'utilisateur se propose d'observer ce qui se passe si l'on réalise une plantation en suivant un patron de répartition simple, et si on laisse ensuite évoluer les choses d'elles-mêmes.

### **A. Première tentative.**

L'île choisie a une superficie globale de 552 ha.

On laisse d'abord évoluer le système sans intervenir, pendant 10 ans.

#### **Observations :**

- Le budget dont on dispose diminue (de 100000 \$ à 82360 \$). Cela est dû au fait que la simple surveillance de ce qui se passe dans l'île requiert la présence sur place d'un certain personnel, qu'il faut évidemment rétribuer. L'inaction n'est donc pas payante.
- Les biomasses végétales (sauvage & fruitière) restent à peu près constantes, de même que les populations de nymphalidés (papillons butineurs) et d'oiseaux.
- Il y a production de fruits, mais en faible quantité (~ 160 kg / an).
- On observe de petites invasions locales de tordeuses, mais qui semblent rapidement contrôlées par les parasites et prédateurs.

#### **Travaux :**

Au cours de la 10<sup>e</sup> année, on défriche une zone rectangulaire de 99 ha au centre de l'île, en utilisant pour cela le patron de répartition "Défricher un secteur sur deux, en damier". On effectue ensuite les plantations proprement dites, en utilisant le même patron de répartition spatiale en damier, de manière à occuper toute la superficie défrichée.

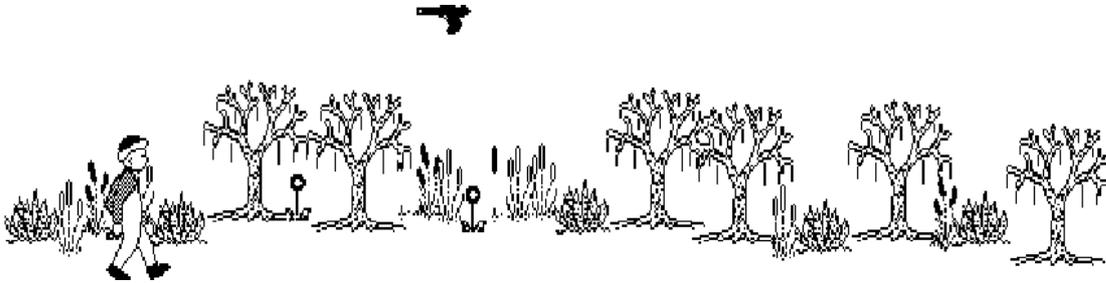
On programme encore des épandages d'engrais réguliers, tous les 4 ans, dans les plantations uniquement.

Coût total des travaux : 56182 \$.

#### **Observations :**

- Au départ, l'évolution du système semble prometteuse : croissance rapide des arbres fruitiers, premières récoltes intéressantes. Très vite, cependant, les problèmes surgissent :

- Année 20 : les chenilles tordeuses apparaissent dans un premier secteur, puis se multiplient et se dispersent rapidement de proche en proche dans les autres, provoquant de très graves dégâts :



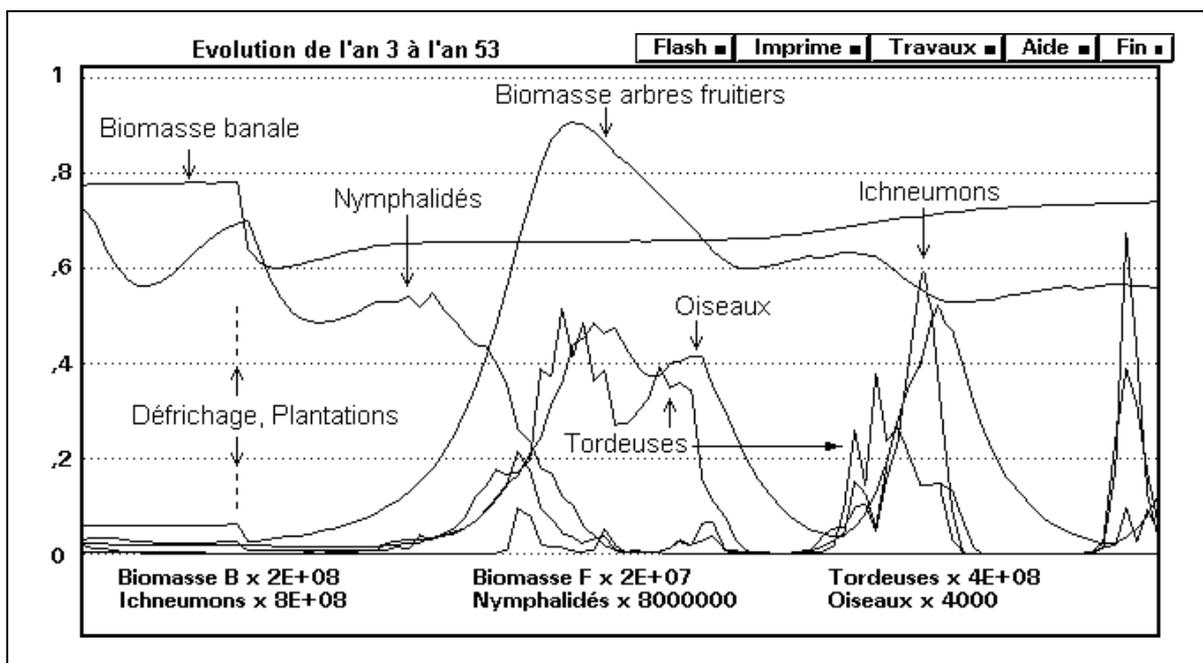
- Peu après le début de l'invasion des ravageurs, on peut observer l'apparition de leurs parasites : les ichneumons prolifèrent à leur tour, et semblent même arriver à limiter un peu les populations de tordeuses.

- Année 28 : Tous ces insectes constituent une aubaine pour les oiseaux, qui commencent à se multiplier eux aussi d'une manière alarmante, au point que l'effectif de leur population passe de 50 à 2000 individus en quelques années.

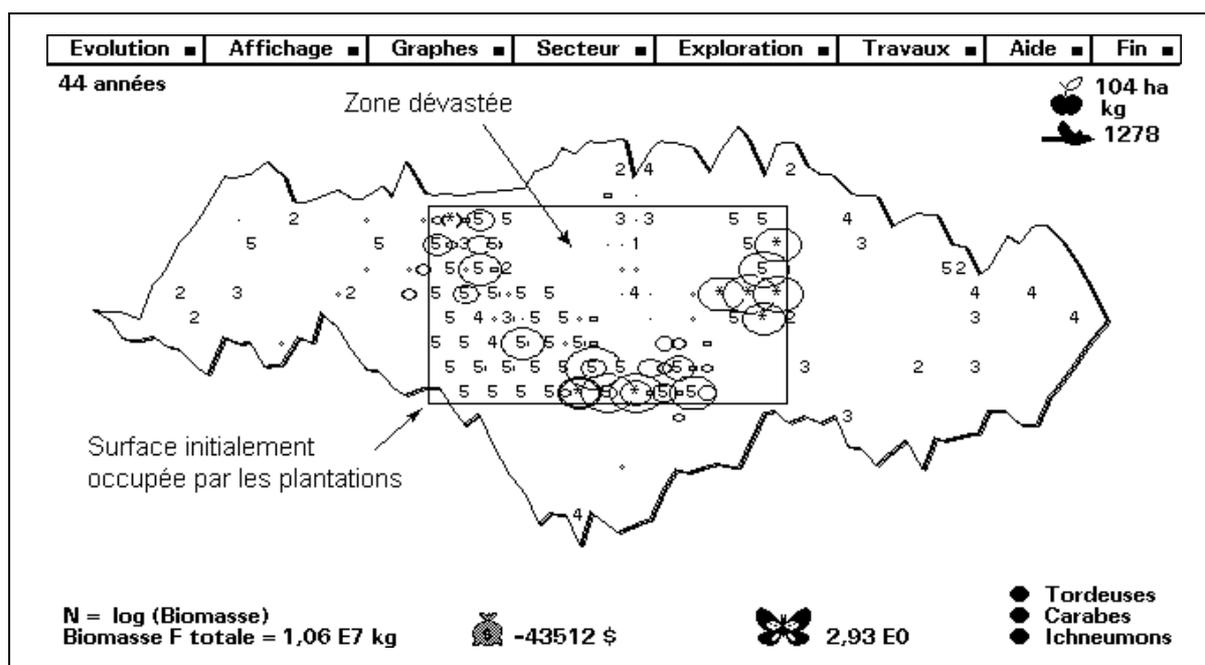
- Année 35 : Le déséquilibre écologique est maintenant manifeste. Les oiseaux devenus trop nombreux éliminent la plus grande partie des insectes : ravageurs, parasites, butineurs, sans distinction. Le résultat semble au premier abord bénéfique, parce que les arbres fruitiers reprennent leur croissance, mais très vite on s'aperçoit que ces arbres ne donnent plus de fruit.

- Année 44 : Sur la carte présentée ci-après (page suivante), on peut constater qu'une petite partie seulement des plantations a été plus ou moins préservée, au Sud-Ouest. Toute la partie Nord et le centre sont dévastés, et les cercles éparpillés révèlent encore la présence active de nombreux insectes.

- Année 53 : Les graphiques présentés résument l'évolution observée: Croissance d'abord rapide des arbres fruitiers plantés, suivie par la prolifération des insectes ravageurs, ensuite celle de leurs parasites, puis des oiseaux, dont la population s'effondre à son tour après l'élimination catastrophique des nymphalidés butineurs. Un désastre.



- On peut encore observer, sur ce même graphique, une reprise de croissance ultérieure des plantations, de courte durée cependant parce que les invasions de tordeuses reprennent de plus belle, puis à nouveau une poussée spectaculaire de l'effectif des oiseaux ...



**B. Seconde tentative.**

Ayant constaté la dispersion très rapide des ravageurs dans les plantations contigues, on décide d'utiliser un autre patron de répartition pour cette nouvelle expérience : les plantations seront réalisées en bandes parallèles, d'orientation Nord-Sud, et qui seront séparées par de la végétation sauvage laissée intacte. On espère ainsi que la dispersion des ravageurs sera freinée.

On choisit donc une nouvelle île, de superficie = 599 ha, et on laisse d'abord l'évolution naturelle se produire pendant une dizaine d'années. Comme précédemment, on observe que l'écosystème naturel est relativement stable, malgré l'apparition sporadique de tordeuses dans certains secteurs occupés par des arbres fruitiers.

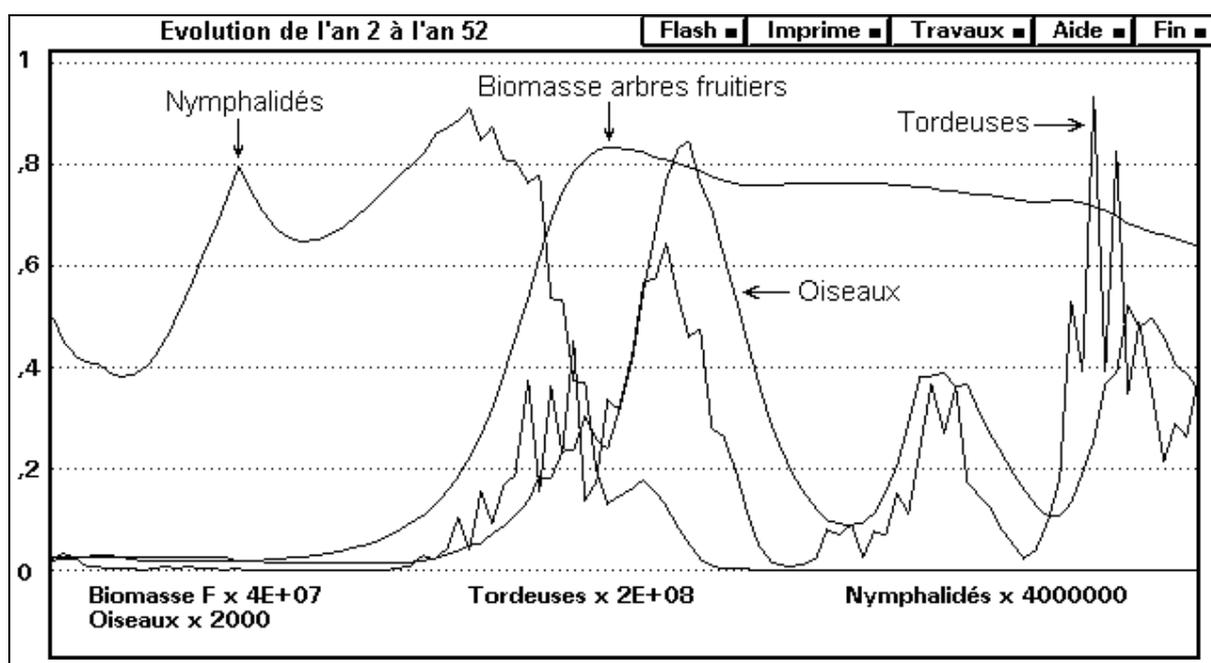
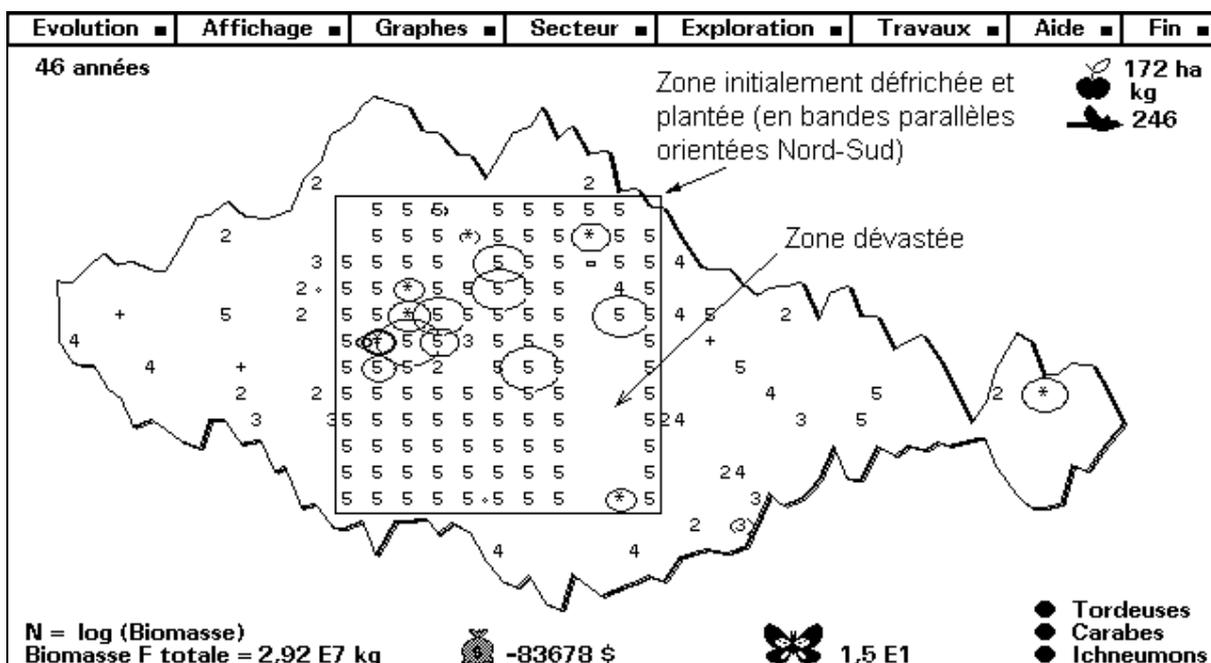
**Travaux :**

Au cours de la 10<sup>e</sup> année, Défrichage de bandes de terrain parallèles sur 131 ha, ensuite plantation sur les mêmes secteurs. Programmation d'épandages d'engrais tous les 4 ans. Coût total : 71788 \$.

**Observations :**

- La croissance des arbres a lieu sans problème pendant 5 ans, puis les tordeuses se manifestent dans la partie Est de la plantation.
- Année 18 : Augmentation de la population d'oiseaux. Quelques secteurs sont dévastés, mais l'invasion reste localisée à l'Est. Peu de fruits.
  
- Année 20 : d'autres secteurs sont maintenant contaminés, dans le centre Ouest, cette fois. Les ichneumonidés et les carabes (prédateurs) font leur apparition au cours de l'année 22.
- Les populations de tordeuses et d'oiseaux restent élevées. On récolte davantage de fruits, mais le budget reste déficitaire (-38000 \$).
  
- Année 34 : les guêpes parasites semblent contrôler assez efficacement les populations de tordeuses dans le centre-Ouest.
- Après avoir atteint un effectif d'environ 2000 individus, la population d'oiseaux s'effondre. Entretemps, les papillons nymphalidés ont disparu, et on ne récolte plus aucun fruit.
  
- Année 43 : La population d'oiseaux redevient importante. Les ichneumons semblent encore assurer efficacement une certaine limitation des populations de tordeuses dans le centre de la plantation. La partie Est, cependant, est dévastée sur une large bande d'orientation Nord-Sud.

Répartir les plantations en bandes parallèles se révélerait-il efficace ?



L'examen des graphiques d'évolution indique que l'on a obtenu une meilleure protection des plantations effectuées, la biomasse totale d'arbres fruitiers restant plus ou moins constante après l'année 25. La production de fruits reste cependant confidentielle, et cela est certainement dû à la disparition des papillons butineurs (nymphalidés), elle-même consécutive à l'augmentation excessive de la population d'oiseaux.

### **C. Troisième tentative.**

Pour cette dernière tentative, on se proposera donc d'instaurer un plan de chasse, afin de limiter l'effectif des oiseaux.

L'île choisie a une superficie totale de 647 ha, et on laisse l'évolution suivre son cours naturel pendant 15 ans.

#### **Travaux :**

Défrichage et plantation en bandes parallèles, sur une superficie de 120 ha. Programmation d'épandages d'engrais tous les 4 ans. Instauration du plan de chasse C.

#### **Observations :**

- Les tordeuses apparaissent rapidement dans quelques secteurs. Les guêpes parasites (ichneumons) sont peu nombreuses. Pas de carabes. Peu de fruits. Le budget dégringole jusqu'à - 45000 \$ à l'année 29.
- La production de fruits démarre ensuite, entraînant une remontée importante du budget. Beaucoup d'oiseaux sont capturés.
- Année 37 : Les récoltes sont abondantes, mais les invasions de tordeuses s'intensifient, surtout dans la partie Ouest. A l'Est, par contre, les guêpes parasites se révèlent fort actives et limitent l'invasion. Le budget redescend lentement.
- Année 47 : Le budget est descendu à - 69000 \$, puis remonte, redescend, remonte encore ...
- L'examen de la carte révèle que de nombreux secteurs ont été dévastés par les tordeuses, mais aussi que la méthode de plantation en bandes parallèles assure une certaine protection des plantations.
- L'examen des graphiques révèle que cette fois, les nymphalidés butineurs n'ont pas disparu, et que l'effectif des oiseaux est resté raisonnable. On peut également constater sur ces graphiques la corrélation existant entre la courbe représentant l'évolution des quantités de fruits récoltées, d'une part, et celles qui correspondent à l'évolution des populations de nymphalidés, mais aussi d'ichneumons, d'autre part. Au terme de cet exercice, on voit que le travail est loin d'être terminé. Les résultats obtenus suggèrent bien évidemment de nouvelles tentatives, au cours desquelles on pourrait envisager l'utilisation d'insecticide, par ex.



On pourrait encore expérimenter différentes tailles de plantations, réalisées dans des conditions par ailleurs similaires, de façon à analyser l'incidence de la proportion de surface cultivée sur l'évolution des populations de nymphalidés, d'ichneumons et d'oiseaux.

Peu de carabes sont apparus spontanément dans les expériences entreprises. Puisqu'il est possible de disposer d'élevages de ces animaux, il apparaît évident qu'il faudrait essayer la technique de lutte biologique consistant à en disperser régulièrement dans les plantations. Il faudrait vérifier également si la fertilité du sol influence ou non la résistance des arbres fruitiers envers les tordeuses.

Dans les expériences racontées ci-dessus, l'utilisateur n'entreprenait rien en cours de simulation (à part des épandages d'engrais tous les 4 ans). Il va de soi que l'on pourrait certainement obtenir de meilleurs résultats en surveillant ce qui se passe dans les plantations, et en agissant localement dès que les problèmes apparaissent, par débroussaillages, épandages d'insecticide ou de carabes prédateurs, etc.

Une autre ligne de recherches pourrait consister à étudier l'évolution d'un vaste domaine de l'île simplement défriché, puis laissé à l'abandon pendant une centaine d'années, afin d'observer les phénomènes de colonisation et de succession. Il devrait aussi se révéler intéressant de comparer les résultats de cette même expérience, effectuée sur terrain pauvre et sur terrain riche (en sels minéraux).



## V. Exploitation pédagogique du logiciel.

1. Nous pensons que l'utilisation de ce logiciel par nos élèves peut, d'une part, leur apporter une bonne perspective du fonctionnement d'un écosystème naturel, et d'autre part, attirer leur attention sur les risques que font courir à l'environnement les diverses activités humaines.

Il devrait leur apprendre que ces activités doivent être conduites avec beaucoup de prudence, sous peine d'aboutir à un déséquilibre écologique, pareil à ceux que l'on peut malheureusement observer de nos jours dans de nombreuses régions du monde.

Comme déjà signalé plus haut, le professeur pourra aborder de nombreux concepts écologiques importants par l'intermédiaire du logiciel :

chaînes alimentaires, courbes de croissance, facteurs biotiques et abiotiques, compétition intra- et inter-spécifique, succession, etc.

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 logiciel est complexe, et il présente de nombreux aspects ludiques.

Il ne faudrait pas que l'élève perde de vue la nécessité de mener ses expériences d'une manière scientifique, c.à.d. en suivant un plan de travail rigoureux.

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.

2. 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 **ECOJOB**. 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.

Rien n'empêche d'inviter les élèves à faire de leur rapport une sorte de petite synthèse écologique, dans laquelle ils pourront inclure :

- Une brève introduction théorique.
- Une description de la démarche suivie dans **ECOJOB**.
- Les documents utilisés ou produits pendant la simulation, assortis de commentaires (voir plus loin).
- Leurs interprétations, conclusions, propositions personnelles à propos des stratégies de gestion écologique expérimentées, un peu comme dans l'exemple fourni au chapitre précédent.
- Des renseignements et documents complémentaires tirés de la bibliographie.

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.

**3.** Les élèves devront 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.

Celui-ci pourra alors commenter les concepts rencontrés au cours de la simulation, en les appliquant à des situations naturelles concrètes. A cette occasion, il pourra utilement illustrer ses propos à l'aide de diapositives, d'acétates, ou même de séquences vidéo.

Il est possible d'imprimer les graphiques produits par **ECOJOB**, et de les transférer ensuite sur acétates pour rétroprojection, par simple photocopie. Si l'on relie alors les caractères imprimés par un trait d'encre de couleur, on obtient de beaux documents qui peuvent servir de base à de nombreuses discussions, en classe.

Ces graphiques imprimés peuvent aussi être emportés et exploités par les élèves, qui les joindront alors à leur rapport de travail, avec leurs interprétations personnelles.

4. Nous fournissons en annexe quelques autres documents de travail, que le professeur peut reproduire et distribuer à ses élèves pour guider leur démarche.

**Le document 1.** sera distribué aux élèves à la fin de leur première séance de travail avec **ECOJOB**, quand ils auront déjà un peu exploré l'île et noté quelques observations. Ce document représente les principaux éléments de l'écosystème simulé. On demandera alors aux élèves de chercher quelles relations, selon eux, lient tous ces éléments. Ils les indiqueront sur le document lui-même, en les représentant par des flèches.

**Le document 2.** sera distribué plus tard, quand les élèves auront complété au mieux le document 1. Ce document est le même que le précédent, mais déjà complété, chaque relation étant assortie d'un symbole clair, de manière à faciliter la discussion en classe. On demandera alors aux élèves **d'expliquer** chacune des relations représentées. Ce document peut très bien servir de fil conducteur pour le rapport de travail que chaque élève est chargé de rédiger.

**Le document 3.** sera distribué en plusieurs exemplaires dans chaque groupe de travail. Il s'agit d'une fiche destinée à encourager une approche réfléchie et systématique des activités de gestion entreprises dans l'écosystème. Chaque élève devrait en compléter plusieurs, et les joindre à son rapport de travail.

Le texte ci-après, enfin, est également destiné à être reproduit et distribué aux élèves. Il peut les aider à s'organiser et à systématiser leur démarche.

## VI. Guide de travail & Questionnaire.

Votre travail avec **ECOJOB** comporte en principe deux phases :

- Une phase d'exploration de l'écosystème (Découverte de l'île), durant laquelle vous devez faire la preuve de vos compétences d'écologiste.
- Une phase de gestion, durant laquelle vous décidez librement les actions à entreprendre pour vous enrichir, en cultivant des arbres fruitiers.

### A. Découverte de l'île.

Durant cette phase de votre travail, vous allez obtenir progressivement diverses compétences d'écologiste. Une option du menu principal d'**ECOJOB** ("Afficher la compétence acquise") vous permet à tout moment de vous situer par rapport à ces compétences.

#### 1. Etude de la végétation.

Vous pouvez vous déplacer à volonté dans l'île. Pour ce faire, choisissez la commande "Changer de secteur". Chaque secteur a une superficie de un hectare, et la végétation que l'on y trouve dépend de nombreux paramètres. Vous devrez explorer plusieurs secteurs différents, dans différentes régions de l'île, pour avoir une idée de la diversité végétale.

Choisissez donc un secteur, et notez son emplacement sur la carte. Examinez la végétation du secteur. Prenez note des noms d'espèces rencontrées, et lisez les descriptions qui les accompagnent. Ces descriptions vous renseignent déjà en partie sur les principales interactions existant au sein de l'écosystème.

Quand vous pensez avoir repéré toutes les espèces présentes, choisissez un autre secteur, et examinez sa végétation. Vous devrez avoir observé au moins vingt espèces différentes avant d'avoir accès au système de prise de notes automatique.

Vous devez ensuite faire la preuve de votre compétence dans le domaine de la systématique botanique, c.à.d. prouver que vous êtes capable de

faire un relevé complet de la végétation rencontrée dans un secteur particulier.

Pour ce faire, actionnez la commande "Noter les espèces présentes", et pointez dans la liste qui apparaît à l'écran les espèces rencontrées dans le secteur. Si vous réalisez ce travail correctement au moins une fois, vous accédez au titre de systématicien.

Cela signifie qu'à partir de ce moment, **ECOJOB** nomme un assistant à votre service, lequel se charge de pointer automatiquement pour vous la liste des espèces présentes dans un secteur quelconque, chaque fois que vous actionnez à nouveau la commande "Noter les espèces présentes".

### Questions :

Observez-vous des différences significatives, d'un secteur à l'autre ?  
Pouvez-vous formuler des hypothèses expliquant les causes de ces différences ?

## 2. Observation des insectes.

Activez la commande "Capturer des insectes". Prenez note des espèces rencontrées. Lisez les descriptions qui les accompagnent. Changez de secteur pour trouver d'autres espèces (il y en a 15 au total).

Quand vous demandez la description de certaines espèces, **ECOJOB** considère que vous en ramenez quelques individus dans un récipient, afin de les observer dans votre laboratoire. Les bocaux ramenés de la sorte apparaissent à coté du menu principal : vous pouvez alors observer leur contenu vivant. Il faudra surtout vous efforcer de mettre ainsi "en boîte" votre ennemi juré : *Tortrix pomonella*, que vous ne trouverez peut-être qu'après avoir commencé la simulation proprement dite. Cette bestiole se rencontre en effet surtout dans les plantations d'arbres fruitiers !

### Question :

Quel type de relations y a-t-il entre les chenilles tordeuses et les autres insectes présents dans l'écosystème ?

### 3. Etude des populations animales.

Vous devez montrer au moins une fois que vous êtes au courant des techniques utilisées par les écologistes pour évaluer les effectifs des populations animales.

Pour ce faire, choisissez une espèce quelconque (un petit papillon, par exemple) et activez l'option "Compter les individus capturés". Vous obtenez le nombre d'individus présents dans l'échantillon capturé. Recommencez une deuxième fois la même chose, pour la même espèce, dans le même secteur.

**ECOJOB** considère alors que vous effectuez une expérience de capture-marquage-recapture, et vous indique les nombres d'animaux présents dans chaque échantillon.

Parmi les insectes recapturés, un certain nombre seront marqués, les autres pas. On peut alors raisonnablement supposer que la proportion d'individus marqués, dans ce petit échantillon de la population étudiée, doit être représentative de la proportion d'individus marqués dans l'ensemble de la population du secteur.

Ce qui revient à écrire :  $\frac{Nme}{Ne} = \frac{Nmt}{Nt}$  2, avec :

**Nme** = Nombre d'individus marqués dans l'échantillon recapturé.

**Ne** = Nombre d'individus présents dans cet échantillon

**Nmt** = Nombre total d'individus marqués (capture précédente)

**Nt** = Nombre total d'individus dans la population étudiée.

Dans cette équation, la seule inconnue est **Nt** , l'effectif global de la population, qu'il est donc assez facile de calculer.

Vous devez faire ce calcul, et répondre correctement au moins une fois à la question de contrôle qui vous est posée, pour qu'**ECOJOB** vous attribue la compétence de gestionnaire, et vous autorise dès lors à contrôler la simulation.

## **B. Gestion de l'écosystème.**

Essayez les différentes commandes mises à votre disposition : La commande d'affichage, par exemple, est assez importante. Enclenchez différentes options, et utilisez l'aide pour comprendre la signification des nombres affichés.

Mettez l'évolution en route, et observez les modifications qui se produisent sur la carte. Après quelques années de simulation, demandez aussi l'affichage des graphiques.

### **1. Courbes de croissance.**

Arrêtez l'évolution du système, si elle est enclenchée, et actionnez la fonction "Travaux".

Défrichez une petite surface de l'île, épandez de l'engrais sur cette surface défrichée, et placez-y votre observateur (fonction "Secteur" de la cartographie principale). Activez l'affichage de la biomasse banale.

Enclenchez l'évolution du système, pour une durée de 3 ou 10 ans.

A l'aide de la fonction "Exploration", envoyez votre assistant explorer le secteur. Faites-lui noter les espèces présentes.

Ces notes sont automatiquement mémorisées sous l'appellation "Rapports d'exploration".

Revenez à la cartographie principale.

Recommencez plusieurs fois de suite les opérations ci-dessus, de manière à observer l'évolution du couvert végétal dans un même secteur défriché, pendant une cinquantaine d'années au moins. Vous pourrez observer l'apparition progressive des arbres, par exemple.

Activez l'affichage des graphiques, en sélectionnant le paramètre "Biomasse banale". Ne prêtez pas attention à la première série de graphiques, qui concerne l'île dans son entièreté. Considérez seulement la deuxième série, qui concerne le secteur dans lequel vous avez placé votre assistant. Vous pouvez ainsi constater la forme caractéristique (sigmoïde) présentée par la courbe de croissance de la biomasse : la croissance est d'abord exponentielle, et puis très vite des facteurs limitants entrent en jeu (lesquels ?) et la biomasse se stabilise.

## 2. Phénomène de succession.

Si vous revenez au menu principal du programme, vous pouvez à présent activer l'option **<Consulter les rapports d'exploration>**. Vous obtenez une représentation résumée des relevés de végétation effectués par votre assistant. Chaque lettre représente une espèce végétale : vous pouvez observer que la diversité augmente quand la biomasse globale augmente.

Certaines espèces présentes dès le début subsistent encore quand la forêt s'est installée, mais d'autres peuvent disparaître.

Refaites à présent le même exercice (Défrichage + Suivi de l'évolution du couvert végétal pendant une centaine d'années), mais dans une région de l'île dont le sol est pauvre. N'utilisez pas d'engrais. Comparez avec l'évolution observée dans un secteur fertilisé.

## 3. Plantation d'arbres fruitiers.

Le moment est venu d'essayer de vous enrichir.  
Arrêtez l'évolution du système, si ce n'est déjà fait.  
Dans une zone fraîchement défrichée, réalisez une petite plantation.  
Placez-y votre observateur.  
Activez l'affichage de la biomasse fruitière.  
Activez l'affichage des secteurs contaminés par les tordeuses.  
Désactivez l'affichage de la biomasse banale.

Enclenchez l'évolution. Les chiffres indiquent la valeur atteinte par la biomasse des arbres fruitiers. Ces chiffres virent au rouge quand les tordeuses apparaissent. Vous pouvez également visualiser l'apparition d'autres insectes (carabes, ichneumons).

A l'aide des graphiques, observez la croissance simultanée de la végétation banale et celle des arbres que vous avez plantés (phénomène de concurrence). Observez l'évolution des populations d'insectes, ainsi que celle des oiseaux.

Comparez ce qui se passe sur différents sols (riches ou non).

Interrompez l'évolution, et réfléchissez.

Le **document 1**, fourni par votre professeur, représente les principaux éléments présents dans l'écosystème. Essayez d'établir quelles sont toutes les relations qui lient ces divers éléments, et représentez-les par des flèches.

Votre professeur vous remettra ensuite le **document 2.**, sur lequel ces relations sont déjà représentées. Essayez alors d'expliciter en quoi consistent ces relations. Certaines d'entre elles sont évidentes, mais d'autres beaucoup moins. Votre rapport de travail devrait contenir des informations telles que ceci :

- Relation A : Il s'agit de la chasse. L'homme peut contrôler les populations d'oiseaux en établissant des règlements de chasse.
- Relation B : Les oiseaux absorbent de l'insecticide par l'intermédiaire des insectes qui leur servent de proies. Cet insecticide s'accumule dans leur corps et peut leur être fatal.
- Relation C : L'insecticide agit sur les insectes butineurs autant que sur les insectes nuisibles. Cela risque de compromettre la pollinisation, c.à.d. la fécondation des fleurs des arbres fruitiers, et donc d'empêcher la formation des fruits.
- etc ...

Suivant les idées qui vous viennent, réalisez d'autres travaux de gestion. Essayez de traiter vos plantations avec de l'insecticide. Epandez de l'engrais ...

Relancez la simulation autant de fois que vous le désirez, mais notez bien ce que vous faites. Travaillez de manière systématique, en ne modifiant qu'un seul paramètre à la fois, sinon vous ne pouvez pas interpréter correctement les effets observés.

La fonction "Mémo", qui vous est proposée au menu des travaux de gestion, devrait vous aider à garder la trace des opérations effectuées.

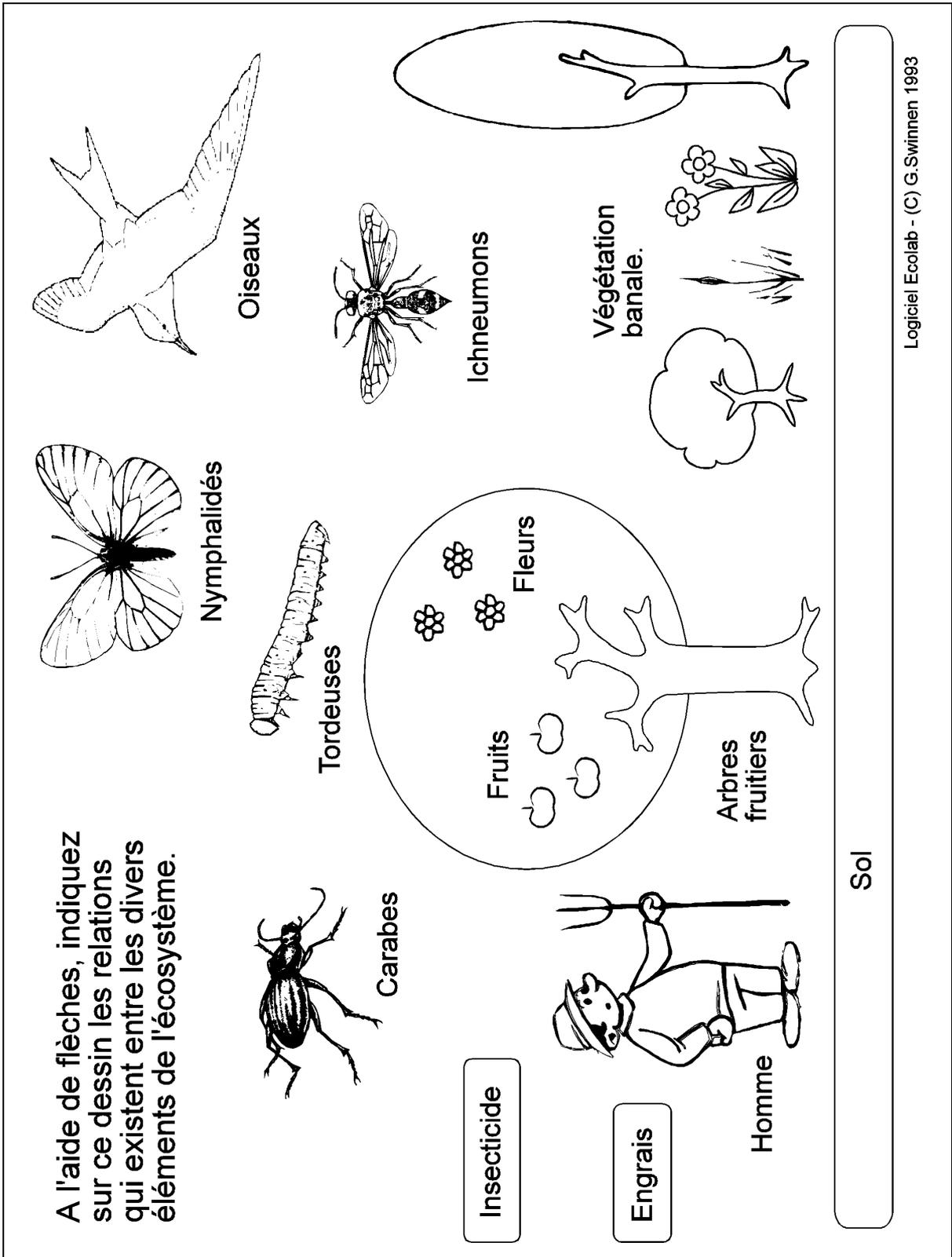
Il s'agit à présent de définir une stratégie : votre travail de recherche commence véritablement ici. Il vous faut non seulement arriver à réaliser une plantation prospère, mais surtout comprendre et décrire les règles à suivre pour atteindre ce résultat. Imaginez-vous dans la peau d'un gestionnaire qui doit transmettre son expérience à ses successeurs, et rédigez donc un texte clair avec la liste de vos conseils.

### **C. Quelques questions de synthèse.**

- Dressez l'inventaire floristique de plusieurs secteurs. Quels paramètres principaux déterminent la flore présente dans un secteur ?
- Décrivez le phénomène de succession végétale.
- Quelle est l'allure d'une courbe de croissance de population ? Expliquez les raisons d'être de cette forme caractéristique.
- Chaînes alimentaires : Etablissez les relations trophiques entre les êtres vivants rencontrés sur l'île. (Qui mange quoi ?)
- Décrivez la méthode de dénombrement des espèces animales par capture - marquage - recapture. (Méthode de l'index de Lincoln).
- Quels sont les divers effets d'une prolifération des tordeuses ?
- Quels sont les ennemis naturels des tordeuses ?
- Les oiseaux sont-ils des prédateurs efficaces (c.à.d capables de limiter la population des tordeuses) ?
- Quels principaux facteurs influencent l'effectif des oiseaux ?
- Les carabes sont-ils des prédateurs efficaces ? Se dispersent-ils facilement dans l'ensemble de l'île ?
- Comparez la prédation des tordeuses par les oiseaux et les carabes.
- Comparez la limitation du nombre de tordeuses par les prédateurs et par les guêpes parasites (ichneumons).
- Comment peut-on favoriser le développement d'une population nombreuse de guêpes parasites ?
- Quel autre rôle important les ichneumons jouent-ils ?
- Quelles conditions déterminent la fructification des arbres ?
- Quels insectes assurent la pollinisation des arbres ?
- Quels facteurs déterminent l'effectif des populations de papillons ?
- Que se passe-t-il si les oiseaux sont très nombreux ?
- Faut-il autoriser la chasse aux oiseaux ? Pourquoi ?
- Pour obtenir une plantation d'arbres fruitiers productive, mais ne nécessitant qu'un minimum d'interventions ultérieures, quels patrons de défrichage et de plantation préconisez-vous ? Pourquoi ?
- Quel est le rôle de l'engrais ?
- Que se passe-t-il si l'on en utilise massivement ?
- Faut-il débroussailler de temps en temps dans les plantations ?
- Quels effets observe-t-on lorsque l'on fait usage d'insecticide ?
- La lutte biologique est-elle un procédé efficace pour le contrôle des populations de ravageurs ? Comment l'appliquer au mieux ?

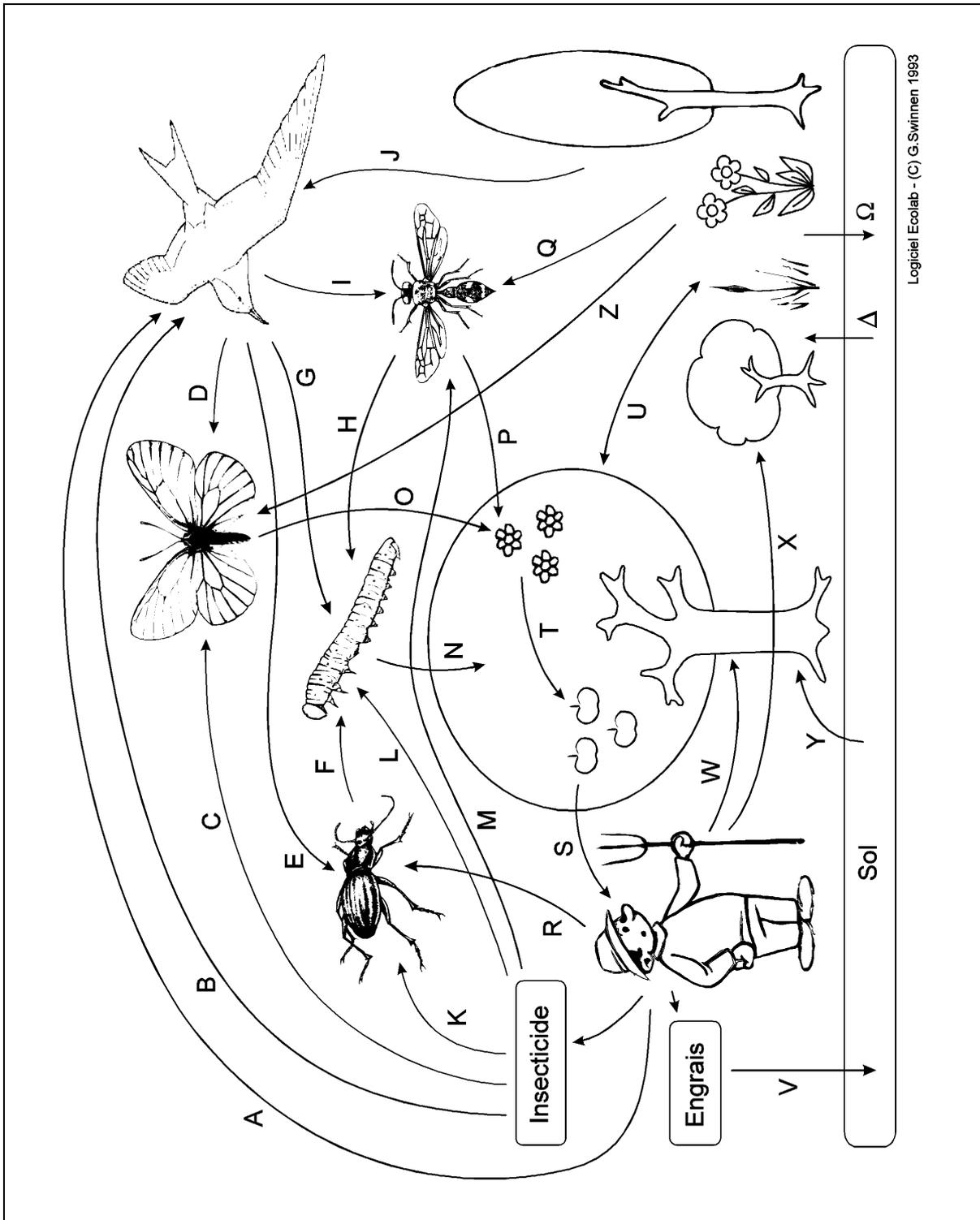
### **D. Documents de travail.**

Aidez-vous de ces documents pour structurer votre rapport de travail.



Logiciel Ecolab - (C) G.Swinen 1993

Document 1.



Logiciel Ecolab - (C) G.Swinnen 1993

Document 2.

**Ecolab (C) G.Swinnen 1993 - Fiche de travail pour la gestion de l'écosystème.**

Nom :

Durée de l'expérience :  ans.

Expérience N°

Engrais

Type de plantation :

Uniforme

En bandes parallèles

En quinconce

En zones isolées de 4 ha

En zones isolées de 1 ha

Terrain défriché avant plantation

Même Superficie

Superficie plus grande

Débroussaillage effectué après :  ans.

Insecticide

Dose :  g/ha

Périodicité :  tous les  ans.

Epannage tous les  ans

Plan de chasse

Allure des principaux graphiques pour la période considérée :

<input type="radio"/> Biomasse F	<input type="radio"/> Tordeuses	<input type="radio"/> Ichneumons	<input type="radio"/> Oiseaux
<input checked="" type="radio"/> x			
<input type="radio"/> Biomasse B	<input type="radio"/> Carabes	<input type="radio"/> Nymphalidés	<input type="radio"/> Fruits
<input checked="" type="radio"/> x			

Lutte biologique

Type d'épandage des carabes :

Très dispersé

Moyennement dispersé

Sur toute la surface

Périodicité : tous les  ans.

Observations, conclusions, et stratégie suggérée pour la suite :

Document 3.

## VII. Quelques considérations techniques.

### A. Installation du logiciel sous MS-DOS.

Avant de pouvoir être utilisé, le programme doit d'abord être installé, c.à.d. adapté à la configuration de votre système informatique.

Pour ce faire, placez la disquette d'origine N° 1 dans le lecteur *ad hoc*, et frappez **INSTALL**. Le programme d'installation vous indique alors ce qu'il convient de faire.

Si les ordinateurs dont vous disposez sont équipés **EGA** ou **VGA**, vos disquettes de travail doivent contenir tous les fichiers dont le nom se termine par **\*\*\*\*\*4.PIC** (Dessins en 16 couleurs).

Si vos ordinateurs sont équipés d'une carte graphique de type **CGA**, vos disquettes de travail doivent contenir tous les fichiers dont le nom se termine par **\*\*\*\*\*2.PIC** (Dessins en 4 couleurs).

Le programme d'installation se charge d'installer les fichiers nécessaires. Il prépare aussi **ECOJOB** pour son utilisation en conjonction avec l'imprimante de votre choix.

Rappelons ici que vous êtes autorisé à faire des copies du logiciel sur des disquettes de travail, mais seulement pour le nombre d'ordinateurs destinés à travailler en parallèle dans un même local. Vous ne pouvez pas distribuer le programme à d'autres professeurs, même au sein de votre institution scolaire. Veillez aussi à ce que les élèves vous rendent ces disquettes de travail à la fin de chaque séance : votre responsabilité est engagée. Ne copiez pas le logiciel sur le disque dur de machines accessibles à d'autres que vous.

### B. Remarques complémentaires.

1. La plupart des imprimantes utilisables sous MSDOS fonctionneront correctement avec l'un ou l'autre des types proposés par le programme d'installation. Sinon, vous pouvez ajouter un nouveau type à la liste, mais vous devez connaître les séquences de codes de commande qui caractérisent cet autre type.

Vous trouverez la liste des séquences codes de commande particuliers à votre imprimante dans son manuel de l'utilisateur. Consultez une personne compétente en informatique, ou contactez **Inforef ASBL**.

En fait, **ECOJOB** n'envoie à l'imprimante que des caractères ACSCII tout à fait standardisés. La seule adaptation à faire concerne les codes spéciaux qui forcent l'imprimante à imprimer de tout petits caractères, avec un interligne réduit, de manière à ce que les graphiques ne s'étalent pas sur plusieurs pages.

Si vous choisissez le type "Autre" proposé par le programme d'installation, en laissant tous les codes vides, le programme fonctionnera et imprimera des graphiques. En cas de problème, essayez cette solution.

**2. ECOJOB** peut fonctionner sur tout ordinateur compatible **PC**, équipé d'une carte graphique vidéo **CGA**, **EGA** ou **VGA** (ou sup.). Il est cependant préférable que la machine utilisée soit de type **AT** (**286**, **386**, **486** ...), car le programme se révèle assez lent sur **XT**, et qu'elle soit équipée d'un moniteur vidéo capable d'afficher des images en couleurs. La plupart des informations sont affichées de manière beaucoup plus claire (graphiques multiples, par exemple) si l'on dispose de la couleur. Le programme est exploitable avec un moniteur monochrome, mais son utilisation sera nettement moins agréable.

***Note** : Des problèmes d'affichage peuvent parfois se manifester avec des ordinateurs équipés de certaines cartes graphiques **VGA** connectées à un moniteur monochrome. Dans ce cas, il faut essayer la commande MSDOS : `MODE CO80` avant de lancer le programme.*

Les meilleurs résultats seront obtenus avec une machine rapide, équipée d'un système vidéo haute résolution couleur, **EGA** ou **VGA**. La carte **CGA** n'autorise que des dessins et graphiques de faible résolution, et en quatre couleurs seulement.

**3. Si vous disposez de peu de temps pour travailler avec ECOJOB**, vous souhaitez probablement pouvoir éluder la phase préliminaire d'exploration et d'apprentissage, au début du programme, pour passer tout de suite à la phase : "Gestion de l'écosystème".

Pour ce faire, il vous suffit d'actionner la "touche secrète" du professeur, en l'occurrence la touche [Tab], **lorsque le menu principal du programme est affiché**.

## Ecojob

---

En procédant ainsi, vous vous attribuez d'office tous les brevets de compétence, et avez donc accès tout de suite à la totalité des fonctions d'**ECOJOB**. Vérifiez avec le bouton <Compétence actuelle>.

Autre possibilité : lancer le programme en ajoutant le paramètre /C à la ligne de commande :

- **Sous Windows** : cliquer sur l'icône de programme à l'aide du bouton droit, puis -> propriétés -> raccourci -> ajouter /C dans le champ "ligne de commande" (après ECOJOB.EXE)
- **Sous MSDOS** : lancer le programme en frappant `ECOJOB/C`

**4. Si les ordinateurs dont vous disposez sont relativement lents,** nous pouvons en outre vous donner les conseils suivants :

- Lancez le programme avec le paramètre /S : `ECOJOB/S`.  
Cette option limite la superficie totale de l'île proposée à 500 hectares au maximum (au lieu de 900 en fonctionnement normal). La masse de calculs à effectuer est donc réduite, et le programme "tourne" plus vite. (Vous pouvez combiner les options /S et /C : dans ce cas, frappez `ECOJOB/CS` ou `ECOJOB/SC`)
- Faites démarrer l'évolution tout de suite.  
**ECOJOB** est capable de fonctionner "en arrière-plan", c.à.d. d'effectuer tous les calculs d'évolution de l'écosystème, pendant que l'utilisateur fait autre chose (exploration de l'île, choix des travaux de gestion, observation des graphiques, par exemple).

Vous obtenez ainsi plus rapidement des graphiques correspondant à une période étendue.

- Quand vous "laissez tourner" le programme, dans l'attente que soient passées un certain nombre d'années de simulation, vous pouvez accélérer les calculs en désactivant provisoirement la procédure qui affiche en permanence, sur la carte de l'île, toutes les modifications produites dans chaque secteur.

Il suffit pour cela de faire apparaître en superposition sur la carte, un menu ou une page d'aide quelconque.

## VIII. Bibliographie.

Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale, par François Ramade.  
McGraw-Hill, Paris, 1984. - ISBN 2-7040-1062-4

Ecologie des populations et des peuplements, par Roger Barbault,  
Université Paris VI - Masson, Paris, 1981. - ISBN 2-225-68244-5

Manuel pratique d'écologie -  
W.Matthey, E.Della Santa, C.Wannenmacher  
Payot, Lausanne, 1984. - ISBN 2-601-01314-1

Evolution. Génétique des populations. Evolution moléculaire,  
par Claudine Petit & Emile Zuckerkandl.  
Hermann, Méthodes, Paris, 1976. - ISBN 2-7056-5829-7

La synthèse écologique.  
Populations, Communautés, Ecosystèmes, Biosphère, Noosphère.  
P. Duvigneaud, Doin, Paris, 1974.

Field and Laboratory Exercises in Ecology, by Stephen D. Wratten and  
Gary L.A. Fry. Edward Arnold, London, 1980. - ISBN 0-7131-2725-2

Introduction to Experimental Ecology : A Student Guide to Fieldwork and  
Analysis, by T. Lewis and L.R. Taylor.  
Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts, England.  
Academic Press - London and New York, 1974. - ISBN 0-12-447156-0

Exploring Biology with Microcomputers.  
Edited by C J Smith, Council for Educational Technology, London, 1985.  
ISSN 0264-4142 ISBN 0-86184-129-8

Systems analysis and simulation in ecology (2 vol.)  
Edited by Bernard C. Patten,  
Department of Zoology, University of Georgia - Athens, Georgia.  
Academic Press - New York and London, 1971 - ISBN 0-12-547201-3

Elements of Ecology - George L. Clarke, Harvard University.  
John Wiley & Sons, Inc, New York - London - Sidney, 1967.  
LCCN 54-12205

Ecology - Robert E. Ricklefs, University of Pennsylvania.  
Thomas Nelson and Sons Ltd, 1973. - ISBN 0-17-761037-9

Les insectes ravageurs des cônes et graines de conifères en France.  
Alain Roques - Editions de l'INRA (Orléans).  
INRA, Paris, 1983. - ISBN 2-85340-509-5

Communities and Ecosystems - Robert H. Whittaker.  
MacMillan Publishing Co., inc., 1985. - ISBN 0-02-427390-2

Ecologie forestière : La forêt, son climat, son sol, ses arbres, sa faune.  
Ouvrage collectif présenté par P. Pesson, Institut National Agronomique.  
Gauthier - Villars, Bordas, Paris, 1974. ISBN 2-04-000285-5

Biologie : Evolution, Diversité et Environnement.  
De Boeck - Wesmael S.A., 1988 - ISBN 2-8041-1056-7  
Traduction française de :  
Biology : Evolution, Diversity and the Environment,  
par Sylvia S. Mader, Second edition, 1987.  
Wm C. Brown Publishers

La vie dans la forêt - Karel Stastny, - Gründ, Paris, 1986.  
ISBN 2-7000-1550-9

Papillons - Ivo Novak - Gründ, Paris, 1991. - ISBN 2-7000-1815-X

Insectes du monde - Walter Linsenmaier - Stock, Paris 1973.

La vie des insectes - V.B. Wigglesworth - La grande Encyclopédie de la nature, vol.6 - Bordas, Paris, 1971.

La grande encyclopédie des insectes - Jiri Zahradnik & Milan Chvala  
Gründ, Paris, 1990. - ISBN 2-7000-2503-2

Les insectes d'Europe - M. Chinery - Elsevier Séquoia, Bruxelles, 1976.  
ISBN 2-8003-0151-1

## Distribution du logiciel

A. En France :

### **Génération 5**

82, Rue du Bon Pasteur, 73000 Chambéry

Tél. : +33 479969959 Fax : +33 479969653

<http://www.generation5.fr>

B. 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>

C. Au Canada :

### **Diffusion Multimedia Inc.**

1200, avenue Papineau, bureau 321

Montréal (Québec) H2K 4R5

Tél. : (514) 527 0606 Fax : (514) 527 4646

<http://www.diffm.com>

Autres logiciels **7P Soft** disponibles :

**BACTOLAB** : Simulation de travaux de détermination bactériologique.

**COVALION** : Jeu didactique sur la théorie des liaisons chimiques fondamentales.

**REFLEXARC** : Etude des fonctions nerveuses élémentaires.

**DROSOLAB** : Génétique de la drosophile.

**FROGMEW** : Approche de l'hormonologie par l'étude expérimentale de la métamorphose, chez la grenouille.

**WAVELAB** : Etude des ondes se propageant dans un milieu à deux dimensions.

**VOLTAKIT** : Etude des circuits à courant continu.

**GRAVILAB** : Etude expérimentale de la gravitation.

**COLORKIT** : Etude de la théorie trichromique des mélanges de couleurs.

**AQUADATA** : Gestion d'une base de données concernant la qualité de l'eau.

**DIDAKIT** : L'assistant didactique. Gestion des corvées du professeur : journal de classe, interrogations, carnet de notes, bulletins.