



UN LOGICIEL DE SIMULATION QUI VOUS CONVIE A DEVENIR UN ACTEUR DE LA GESTION DURABLE DE L'EAU

Réalisé dans le cadre d'eurEAUform@, projet de formation continue pour éduquer à la gestion européenne de l'eau.

Conception scientifique et réalisation:
Louis Leclercq (Université de Liège) , G. Swinnen , INFOREF

Projet financé par la Commission Européenne,
programme SOCRATES Comenius Action 2.1

OBJECTIFS



est un outil interactif qui vous met en situation dans une vallée en région tempérée. Vous pouvez décider de protéger intégralement son environnement forestier initial ou d'y réaliser des aménagements favorables à l'installation humaine (zones d'habitat ou zones agricoles) ce qui aura inévitablement un impact sur la qualité des eaux. Vous pouvez opter pour une intervention donnant priorité aux aspects économiques (coût minimum des constructions, rendements

agricoles) ou œuvrer dans une perspective de gestion durable (épuration des eaux usées, limitation des engrais et pesticides, élevage extensif).



vous permet de mesurer la qualité de la rivière en plusieurs points de contrôle dans 3 bassins versants:

- -avant toute intervention (état initial naturel de référence)
- -après tout aménagement
- -après toute mesure d'amélioration.

Les concepts de bassin versant et de milieu de référence sont repris dans la Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau
<http://europa.eu.int/scadplus/leg/fr/lvb/l28002b.htm>



Pour ce faire, propose :

- UNE SCENE : trois cours d'eau et leurs bassins versants
- DES ACTEURS : nous tous qui achetons des terrains et les occupons
- DES ACTIONS : constructions, cultures, élevages ¹
- DES SENTINELLES : des êtres vivant dans les rivières et enregistrant en permanence toutes les modifications de la qualité de l'eau. Nous choisissons ici les algues microscopiques du groupe des diatomées pour leur grande sensibilité aux pollutions. ²

QUE SONT LES DIATOMÉES ?

"Il y a peu d'objets plus admirables que les délicates enveloppes siliceuses des diatomées. Ont-elles donc été créées pour que l'Homme puisse les examiner et les admirer en se servant des plus forts grossissements d'un microscope ? (Charles DARWIN, L'origine des espèces, 1859) "

¹ Les industries génèrent des eaux polluées très spéciales, très diverses, souvent toxiques et très difficiles à analyser. C'est pourquoi Wirtval n'aborde pas cet aspect.

² L'approche virtuelle est l'outil idéal pour étudier ces algues peu connues du grand public et des enseignants qui, souvent, ne disposent pas d'un microscope assez performant pour leur observation.

Les diatomées sont aussi appelées Bacillariophycées, ce nom évoquant leur forme (du latin : bacillus = bâtonnets).

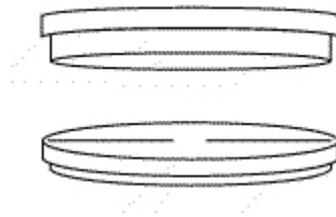


Elles sont microscopiques et unicellulaires et leur taille varie de quelques micromètres à plus de 500 micromètres (= 500 millièmes de mm).

Elles sont classées parmi les algues brunes en fonction de leurs pigments : chlorophylles a et c masquées par des caroténoïdes dont la fucoxanthine et des xanthophylles.

Il existe environ 250 genres et entre 10000 et 12000 espèces. Certains auteurs pensent même qu'il y en aurait jusqu'à 100000 espèces. On estime que ces algues fixeraient près de 50 % du carbone total sur terre !

Leur particularité la plus notable est d'édifier un squelette externe en verre organique ou opale ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) formé de deux parties emboîtées, tout comme une boîte et son couvercle.



Une fois les diatomées mortes, ces squelettes peu solubles se sont déposés, parfois en couches épaisses, au fond des mers et des lacs pendant des millions d'années pour former une roche blanchâtre très légère, la diatomite.

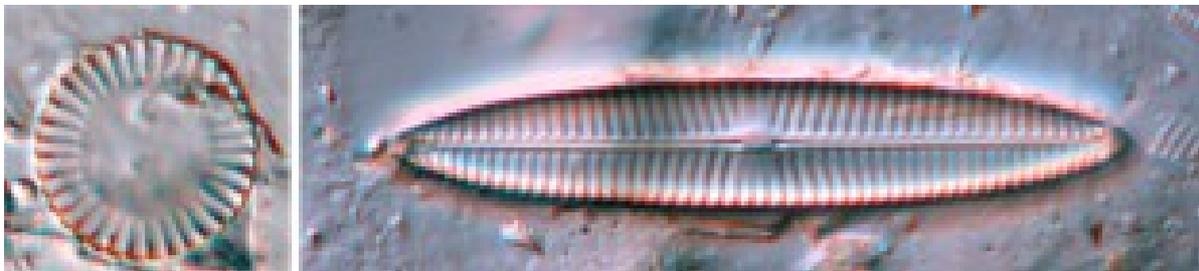
Les utilisations de cette « terre de diatomées » dans l'industrie sous forme de poudre (la « terre de diatomées ») sont nombreuses : opacifiant de peinture, abrasifs, filtration, fabrication d'isolants, stabilisant pour la nitroglycérine (invention de la dynamite par Alfred Nobel),...

Les diatomées vivent en aquatique dans les eaux salées, saumâtres et douces et en aréophiles (= dans l'air libre) dans des ambiances humides (touffes de mousses au pied des arbres, sols humides, entrées de grottes).

On pense que le groupe a pu se différencier il y a 250 millions d'années. Les fossiles d'espèces marines rondes ou « centrées » sont connus depuis le début du Crétacé (120 millions d'années). Les diatomées allongées ou « pennées » marines sont apparues ultérieurement (70 millions d'années). Les pennées d'eau douce sont apparues vers 60 millions d'années.

Comme pour tous les organismes vivants, chaque individu reçoit un nom de genre et un nom d'espèce. C'est un peu comme notre nom de famille et notre prénom. C'est encore le latin qui prévaut en zoologie et en botanique.

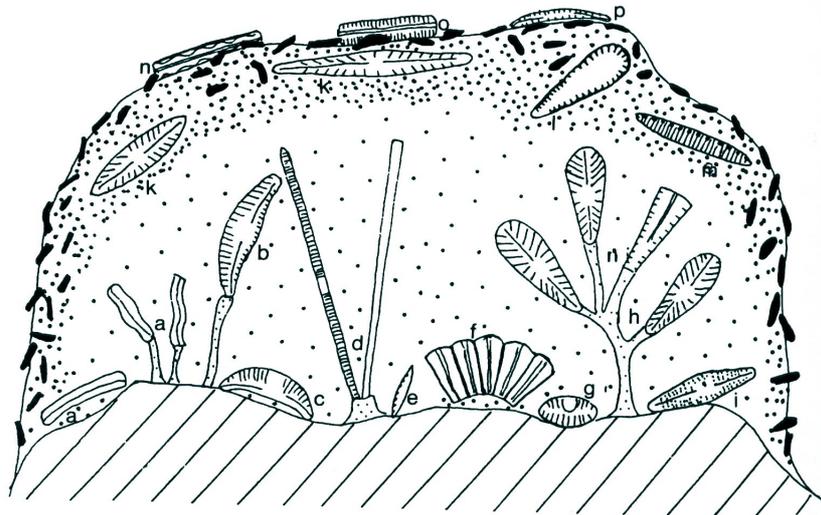
Pour les diatomées, la reconnaissance des genres et des espèces se fait en observant les caractéristiques du squelette :



- la forme : ronde ou allongée
- la symétrie
- la présence ou non d'un canal appelé le raphé qui paraît diviser le squelette en deux (d'où le nom diatomées, du grec diatomos = coupé en deux)
- l'ornementation fine (densité des lignes, points, épines,...)
- la taille.

(Une clé de détermination en hypertexte est disponible sous : http://www.ulg.ac.be/cifen/inforef/projets/eureauforma/clef_diatom/numero/01.htm)

Dans les cours d'eau, les diatomées recouvrent rapidement tous les objets immergés (cailloux, branches, morceaux de verre, surface des vases,...) et les rendent glissants car elles secrètent un mucilage gélatineux. Le dessin ci-dessous montre la structure d'un peuplement à la surface d'un caillou (d'après Round, 1993).



Pour les prélever, il suffit donc de brosser la face supérieure de quelques cailloux. Observées directement au microscope, les diatomées vivantes ont une couleur brun-jaune et certaines se déplacent. Contrairement à beaucoup de végétaux qui ont de l'amidon comme substance de réserve, les diatomées secrètent des huiles.



Pour bien observer les structures fines des squelettes, il faut détruire le contenu vivant par un traitement à l'acide ou à l'eau oxygénée.

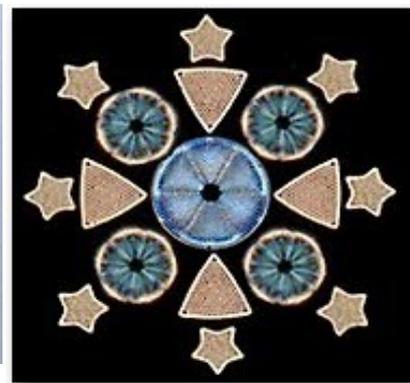
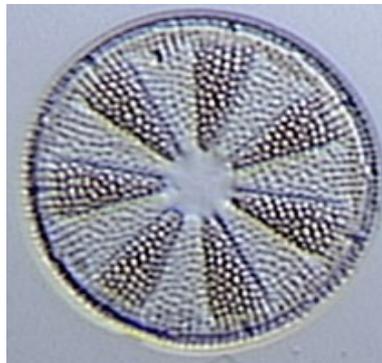
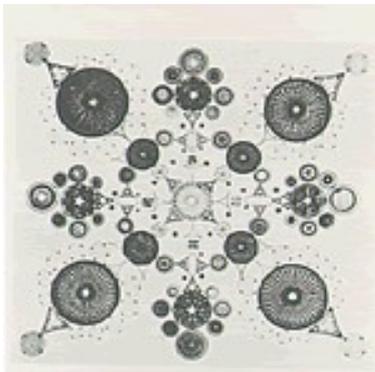
[Pour en savoir plus sur le prélèvement, le traitement des échantillons, les comptages et le calcul des indices diatomiques, voir :](http://www.ulg.ac.be/cifen/inforef/expeda/eureau/brochure/partie1/sommaire.htm)

<http://www.ulg.ac.be/cifen/inforef/expeda/eureau/brochure/partie1/sommaire.htm>

L'ensemble de toutes les diatomées d'un échantillon forme un peuplement. Suivant la composition chimique de l'eau, chaque peuplement peut renfermer entre 10 et 200 espèces différentes ! Pour les cours d'eau d'Europe tempérée, (à l'exclusion des eaux saumâtres des estuaires), quelque 600 espèces ont été trouvées .



Dans le cadre de , 80 espèces d'eaux douces courantes sont retenues comme bio-indicateurs de la qualité des eaux. Elles dépendent étroitement des éléments chimiques dissous comme le calcium, les chlorures, les matières organiques des eaux usées, les nitrates et les phosphates de l'agriculture,... Certaines sont très sensibles aux pollutions, d'autres très résistantes et elles intègrent les variations de la qualité des eaux. Ainsi, la composition du peuplement à un moment donné est l'image intégrée de toutes les variations qui se sont produites pendant environ 3 semaines avant la récolte. Après avoir identifié et compté toutes les espèces, on peut calculer un indice de qualité de l'eau.



ASPECTS PEDAGOGIQUES

Les travaux réalisables avec  sont nombreux et variés :

- Etude de la qualité de l'eau dans un bassin hydrographique dans des conditions naturelles, via l'étude des peuplements,
- Etude des modifications de la qualité des eaux après installation de l'homme (habitat, culture, élevage)
 - Hameau, village, ville avec ou sans station d'épuration,
 - prairie petite, moyenne ou grande surface, intensive ou extensive,
 - culture de petite, moyenne ou grande surface, intensive ou en culture biologique.

- Apprentissage de la systématique d'un groupe végétal (algues diatomées) à l'aide d'une clé interactive.

L'étude des cours d'eau naturels et pollués est d'emblée une difficulté presque insurmontable dans l'enseignement scolaire situé en milieu urbain. Elle demande des sorties sur le terrain avec des déplacements importants demandant trop de temps. Par la suite, les analyses des prélèvements exigent un matériel spécifique coûteux, souvent absent des écoles, que ce soit des mesures chimiques ou des observations suffisamment précises au microscope ou à la loupe.

Dès lors, les enseignants, s'ils peuvent quitter l'établissement, limitent généralement ce type d'étude à quelques mesures peu utiles (pH, température, conductivité) et à l'observation d'organismes animaux de grande taille directement sur le terrain.

Il en résulte que l'écosystème aquatique n'est pas étudié ou il n'est pas approché dans sa globalité puisque aucune analyse des producteurs primaires (algues, plantes) n'est réalisée.



Le logo Virtval vise à pallier ces inconvénients et ces limites en rendant possible l'analyse d'un bio-indicateur microscopique: le groupe des diatomées qui compte de nombreuses espèces, les unes très sensibles, d'autres très résistantes aux pollutions générées par les eaux résiduaires de nos habitations, d'autres encore réagissant aux engrais utilisés dans l'agriculture.

Leur étude réelle nécessite des ouvrages spécialisés et de très bons microscopes car leurs structures et ornements sont extrêmement fines. En voilà assez pour décourager cette approche par les enseignants.

Et pourtant de nombreuses recherches scientifiques ont établi la grande fiabilité de ces algues comme bio-indicateurs : elles enregistrent les moindres variations de la qualité des eaux et leurs peuplements reflètent parfaitement l'ensemble des aménagements que l'homme réalise dans un bassin versant.



Ainsi donc, l'utilisateur de Virtval aura la possibilité de se situer dans un contexte naturel puis de choisir certaines actions (construire, cultiver)

et d'analyser leur impact sur la qualité des eaux via les peuplements de diatomées.

Une des particularités essentielles du programme est que les résultats des interventions ne sont acquis qu'après avoir étudié en détail les peuplements de diatomées adaptés à chaque cas c'est-à-dire en ayant identifié chaque espèce via une clé interactive. Au terme de cette démarche, les résultats apparaissent sous 3 formes : un champ microscopique colorisé, un histogramme et une cote (= indice diatomique) qui correspond au niveau de pollution.

Pour que l'analyse soit possible, il faut connaître les principes de base du fonctionnement d'un écosystème aquatique et la nature des pollutions générées par les activités humaines. Pour l'enseignant, ou l'utilisateur isolé, ce pré-acquis, en principe déjà présent, pourra être complété par la lecture du "Mode d'emploi". Pour l'élève, les instructions seront fournies au préalable par l'enseignant. Elles sont rappelées ensuite au cours de l'utilisation du logiciel via des fenêtres.

ASPECTS TECHNIQUES

Installation du logiciel

Installation simplifiée sous Windows (toutes versions à partir de Win95) :

Lancez l'exécution du programme **virtvalins.exe**. Suivez les instructions qui apparaissent à l'écran. L'installation peut être effectuée sur un serveur réseau, dans un répertoire partagé quelconque. Il faudra simplement s'assurer de connecter un « *lecteur réseau* » sur chaque poste client, en direction de ce partage.

Remarque concernant certaines versions de Windows 95 :

Dans certaines versions de Windows 95, deux DLL utilisées par Virtval sont manquantes : **ws2help.dll** et **ws2_32.dll**

Si votre système Windows 95 vous réclame ces DLL à la fin de l'installation de Virtval, vous devrez donc les installer. À tout hasard, nous en avons placé une copie à votre intention dans le répertoire **Windows95** du cédérom.

Installation détaillée sur un système Windows, Linux ou MacOS :

Si vous possédez quelques connaissances en informatique, ce type d'installation est préférable, car il nécessite moins d'espace disque, il vous donne un meilleur contrôle des opérations, et en prime vous disposerez de tout le nécessaire pour vous lancer vous-même dans la programmation Python si cela vous intéresse !

•**Si vous utilisez Windows**, sachez qu'il est très facile de vous procurer *Python* et de l'installer sur votre système : voyez pour ce faire le site : <http://www.python.org>, section *download*. L'installateur Windows standard installe également la librairie graphique *Tkinter*.

•**Si vous utilisez Linux**, installez les paquetages *Python* et *Tkinter* qui font très certainement partie de votre distribution. (*Tkinter* est parfois inclus dans le même paquetage que la *Python Imaging Library*). Vous pouvez également vous procurer Python par téléchargement depuis l'internet (Voir <http://www.python.org>).

•**Si vous utilisez MacOS :**

•Depuis le site <http://www.python.org>, téléchargez et installez la version de *Python* pour *Mac* correspondant à l'OS exact (de préférence *MacOS X* : l'installation sur *MacOS 9* est probablement possible, mais assez délicate. Nous n'avons pas nous-même approfondi cette question).

•Installez ensuite la bibliothèque de fonctions graphiques *Tkinter*. Celle-ci se trouve habituellement dans le *Python Package Manager* à télécharger, lequel doit correspondre lui aussi à l'OS exact.

Normalement, le *Package Manager* sélectionne automatiquement la base de données de paquetages qui correspond à votre version de *MacOS X*, mais cela ne marche pas toujours, en particulier si vous disposez d'une version vraiment très récente de *MacOS X*. Dans ce cas, vous pouvez ouvrir manuellement une base de données prévue pour une version proche de la vôtre. (par exemple, une b.d. numérotée 10.2.5 fonctionnera probablement aussi sous 10.2.6). Pour essayer cela, vous devez visiter le site : <http://www.python.org/packman/>, choisir l'une des URL qui y sont présentées, et la recopier dans le menu : *Fichier => Ouvrir URL du Package Manager*.

Ceci vous permet d'accéder aux différents modules installés ou non pour *Python*. Il suffit alors de sélectionner le module *Tkinter* et de cliquer sur *install*.

Vous devrez peut-être aussi installer d'abord le module *Aqua* (bibliothèques Tcl/Tk) avant de pouvoir installer *Tkinter*. Ce module peut être téléchargé depuis le site : <http://tcltkaqua.sourceforge.net> . Il faut bien entendu choisir le module correspondant à votre OS.

Les deux vérifications ci-dessous (tous systèmes) sont facultatives.
Effectuez-les si vous rencontrez des difficultés :

•Vérifiez que votre interpréteur *Python* est suffisamment à jour (ce doit être la version 2.3 ou une version plus récente). Pour ce faire : sous *Windows*, lancez *Python IDLE* ; sous *Linux*, entrez la commande « *python* » dans une fenêtre de terminal. Vous devriez voir apparaître le message d'invite de *Python*, accompagné de son numéro de version. Si votre version de *Python* est antérieure à la version 2.3, vous devrez la mettre à jour (Veuillez pour ce faire consulter la documentation de votre distribution de *Linux*, ou ré-installer vous-même une version plus récente, téléchargée depuis le site <http://www.python.org>).

•Vérifiez que la bibliothèque *Tkinter* est bien installée. Pour ce faire, à l'invite de *Python*, entrez la commande : « *import Tkinter* » (exactement comme indiqué, c'est-à-dire entièrement en caractères minuscules, excepté pour le T de *Tkinter*). Aucun message d'erreur ne doit apparaître.

Les quelques opérations décrites ci-dessus ne doivent pas vous effrayer : il vous faudra moins de temps pour les effectuer que pour lire leur description !

Lorsqu'elles auront été réalisées, passez à l'installation proprement dite de ***Virtval*** :

•L'installation consiste simplement à extraire le fichier archive nommé ***virtval.tgz***, téléchargé depuis notre site web. L'extraction peut être effectuée dans un répertoire quelconque. Vous pouvez très aisément effectuer cette opération à l'aide d'un logiciel tel que *Winzip* (sous *Windows*) ou *tar* (sous *Linux*).

•Si vous utilisez l'un des gestionnaires de fenêtres *KDE* ou *Gnome*, dans une version récente de ***Linux***, il vous suffit de copier le fichier archive ***virtval.tgz*** dans un répertoire quelconque, puis de cliquer sur son icône à l'aide du bouton droit de votre souris. Dans le menu qui apparaît, choisissez : ***action*** => ***extraire ici*** (le logiciel d'extraction sera invoqué automatiquement).

•Le résultat du désarchivage est l'apparition d'un sous-répertoire nommé ***virtval***, lequel contient le logiciel et tous ses fichiers annexes. À ce stade, vous pouvez encore décider de transférer ce répertoire et son contenu ailleurs, si vous l'estimez souhaitable.

•Pour lancer le logiciel la première fois, repérez dans ce répertoire ***virtval*** l'icône du fichier ***virtval.py***, et cliquez dessus à l'aide du bouton droit de votre souris. Dans le menu qui apparaît, choisissez l'option : ***ouvrir avec***, puis ***python*** dans la petite liste qui vous est proposée. Si

python n'est pas proposé, choisissez **autre**, et entrez vous-même le mot **python** (entièrement en minuscules) dans le champ qui vous est présenté en haut de la fenêtre d'association. N'oubliez pas de cocher ensuite la case : **mémoriser l'association entre l'application et ce type de fichier**, puis de valider.

•Par la suite, il vous suffira de cliquer du bouton gauche sur l'icône de **virtval.py** pour démarrer le programme. Vous pourrez aussi installer un raccourci où vous voudrez.

•**Virtval** ne nécessite pas la présence de *KDE* ni de *Gnome*. Vous pouvez l'utiliser avec n'importe quel gestionnaire de fenêtres (*WindowMaker*, *IceWm*, *XFCE*, etc.). Veillez cependant à ce que *Python* et *Tkinter* soient installés.

•Pour démarrer le logiciel depuis la ligne de commande (dans une fenêtre de terminal), la technique habituelle consiste à lancer la commande :

python virtval.py

depuis le répertoire où est installé ce fichier, ou encore :

python /chemin/menant/au/fichier/virtval.py

depuis un répertoire quelconque.

Notes :

Vous pouvez bien évidemment installer un lanceur ou une icône de raccourci pour effectuer ce lancement de manière plus conviviale.

Il est parfaitement possible d'installer **Virtval** sur un serveur réseau et de le lancer ensuite à partir de n'importe quel poste de travail.

Sous *Windows*, il vous faudra définir sur les postes de travail un "lecteur réseau" pointant vers le partage du serveur dans lequel **Virtval** aura été installé.

Sous *Linux*, il vous suffira d'effectuer sur les postes de travail un montage NFS du répertoire serveur dans lequel **Virtval** aura été installé.

Sous *Linux* encore, vous pouvez également exécuter le programme à distance sur le serveur lui-même, en ouvrant une session graphique à l'aide de *Telnet* ou *SSH*. Vous devrez dans ce cas autoriser le serveur distant à utiliser votre propre serveur X, à l'aide d'une commande telle que **xhost +** .

Choix de la langue utilisée par le logiciel

Dans le répertoire principal de *Virtval*, vous trouverez un petit fichier nommé **language.ini** qui contient une seule ligne de texte, celle-ci assez explicite. Pour initialiser *Virtval* avec une autre langue, il suffit d'y remplacer les deux lettres entre "".

Les seuls choix possibles pour l'instant sont : "fr" (français) ou "en" (english)

Note concernant les bulles d'aide associées à certaines options des menus qui n'apparaissent pas toujours (sous Windows uniquement) :

Lorsque vous choisissez l'une des rubriques de la barre de menus, il faut ensuite "détacher" le menu correspondant dans une fenêtre distincte, en cliquant pour ce faire sur la ligne pointillée située en haut de ce menu. Si vous laissez le menu attaché à la barre de menus, les bulles d'aide n'apparaissent pas (alors qu'elles le devraient) lorsque l'on "survole" les options de ce menu à l'aide de la souris. Ce bug n'apparaît que sous Windows. Sous Linux, les bulles d'aide apparaissent dans tous les cas de figure.

MODE D'EMPLOI

Lancer le logiciel : 3 ruisseaux et leurs trois bassins versants s'affichent. Ils présentent des sols différents en fonction de la nature des roches du sous-sol et sont couverts de forêts naturelles.

Sur les sommets :



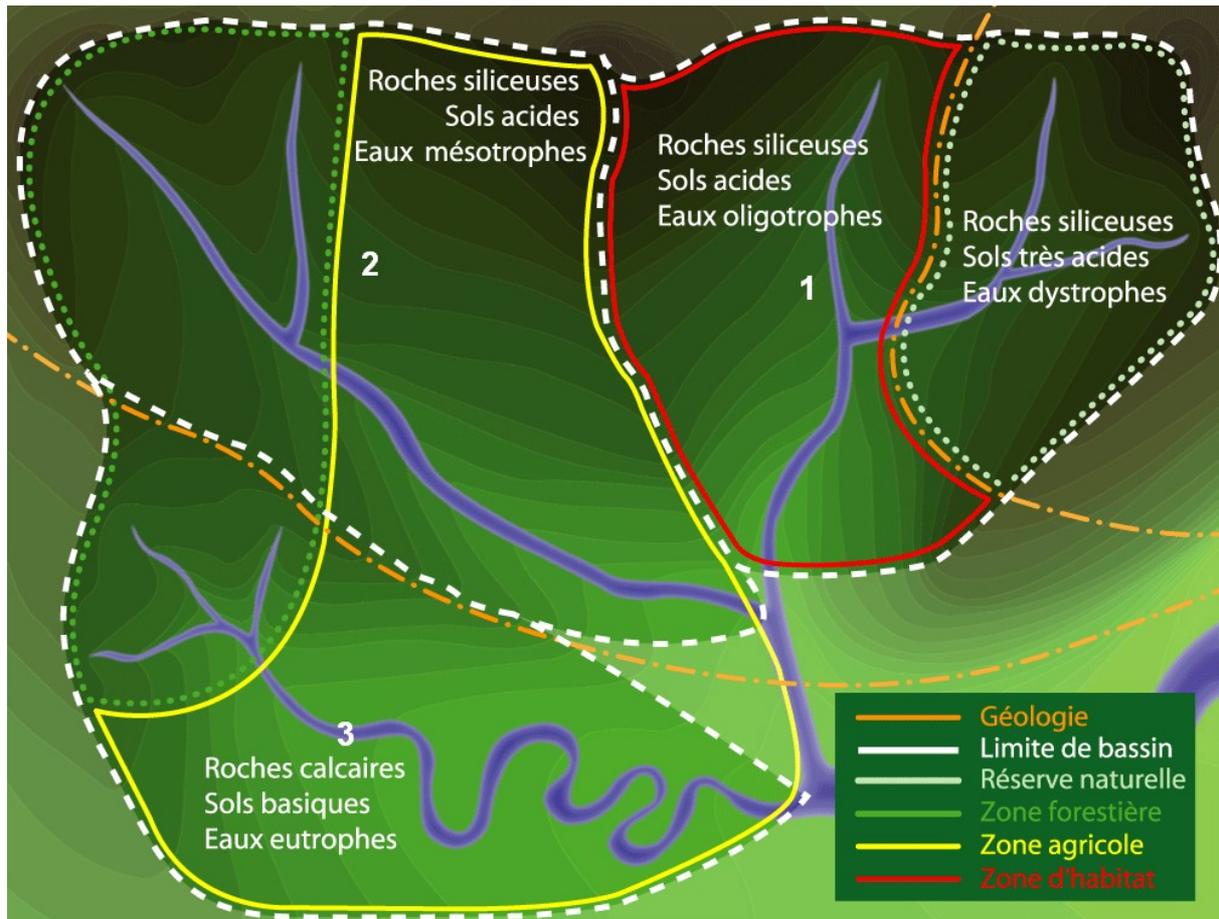
Dans les vallées :



Dans un premier temps,  étudie des cours d'eau naturels. Chaque cours d'eau s'inscrit dans un bassin versant délimité par les lignes de crête et qui l'alimente via les eaux souterraines de ruissellement. En amont de chaque point d'étude, le bassin versant couvre une surface déterminée dont dépend globalement le débit. Des sources vers l'embouchure, la surface du bassin versant augmente, les cours d'eau sont de plus en plus larges et leur débit augmente.

Dans les régions tempérées, en l'absence des hommes, les bassins versants seraient presque entièrement couverts de forêts, les espèces d'arbres dépendant du climat, de l'altitude et des types de sols (calcaires ou non, plus ou moins humides). Dans ces conditions, les cours d'eau sont NATURELS. De nos jours, il est difficile d'en trouver car l'homme a beaucoup défriché.

 commence donc en forêt, à la recherche des milieux naturels de référence.



Pourquoi trois bassins différents ?

Parce que la composition naturelle de l'eau des cours d'eau et des sols (puis ce que l'homme en fera) va dépendre surtout de la nature chimique des roches.

Notion d'aménagement différentiel
du territoire suivant ses aptitudes

1 présente deux types de roches :

- à l'est, des roches siliceuses (par exemple des phyllades et des quartzites) donnant naissance à des sols très acides et très pauvres, notamment en carbonate de calcium et en éléments nutritifs (azote et phosphore). De ce fait, cette zone ne conviendra qu'à la sylviculture ou ne sera pas utilisée par l'homme qui, dans le

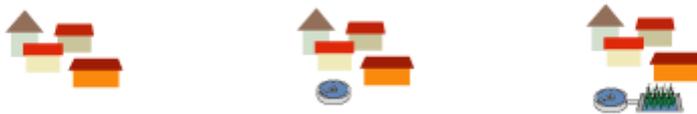
cas présent, décidera de la préserver par le statut de réserve naturelle comme zone refuge pour la faune et la flore. Les cours d'eau sont aussi très acides (eaux dystrophes).

- à l'ouest, les roches aussi siliceuses, mais contenant un peu de carbonate de calcium qui neutralise partiellement l'acidité; les sols sont alors moins acides et lorsque l'homme s'y installera, il défrichera la forêt et établira son habitat. Les eaux moins acides mais toujours pauvres sont dites oligotrophes.

Actions possibles à l'est : aucune (zone intégralement protégée)

Actions possibles à l'ouest : établir un hameau, un village ou une ville et l'équiper ou non d'une station d'épuration.

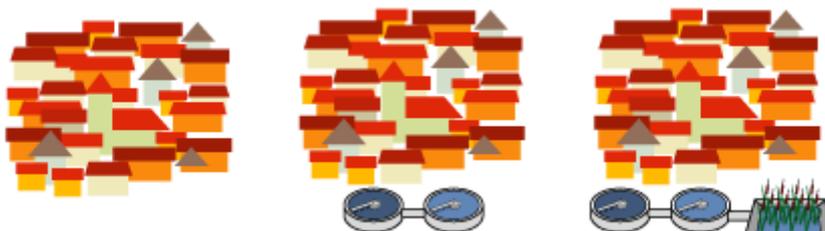
-un hameau = 200 habitants (équivalents à environ 70 maisons)



-un village = 2000 habitants (± 700 maisons)



-une ville = 20000 habitants



2 présente des sols mieux pourvus en carbonate de calcium et moins acides. L'homme les consacra à l'élevage en les défrichant et en y

installant des pâtures. Il réservera toutefois la zone forestière la plus élevée à l'ouest pour la sylviculture et la récréation. Les cours d'eau sont de type mésotrophe à l'état naturel.

Actions possibles : *établir une petite, moyenne ou grande zone de prairies (soit 10, 30 ou 90 % de la surface du sous-bassin) et adopter une agriculture extensive (peu de têtes de bétail à l'ha) ou intensive.*

3 présente des sols calcaires peu acides : l'homme pourra les défricher et les utiliser pour ses cultures. Seule une petite zone forestière subsistera en amont. Les cours d'eau sont de type eutrophe à l'état naturel.

Actions possibles : *établir une petite, moyenne ou grande zone de cultures (soit 10, 30 ou 90 % de la surface du sous-bassin) et adopter une agriculture biologique (peu d'engrais et de pesticides) ou intensive.*

Dans chaque cas, on peut ainsi opter pour

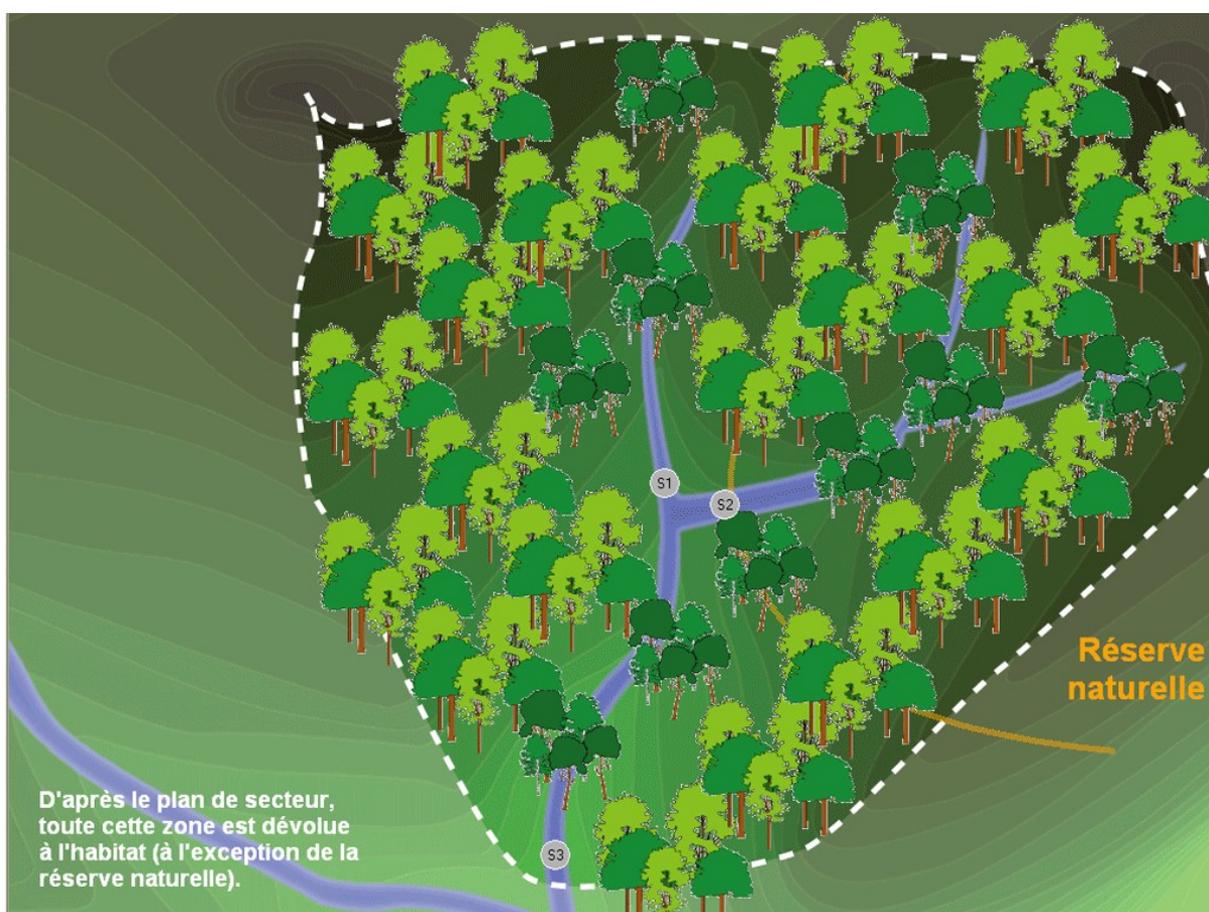
- Aucune action : on garde l'état naturel (états de référence)
- Action dégradante : gestion intensive générant nuisances et perte de biodiversité
- Action durable : gestion qui minimise les impacts négatifs sur l'environnement.



PHASE 1 : LES ETATS DE REFERENCE

1.1. Cliquer sur un des bassins. Soit **1**.

La carte agrandie du bassin A couvert de forêts s'affiche avec cette fois trois stations d'étude. En forêt, les cours d'eau ne reçoivent en principe aucune pollution. Dans nos régions, ce sont les seuls endroits, avec les réserves naturelles, où l'on peut encore trouver des cours d'eau naturels.



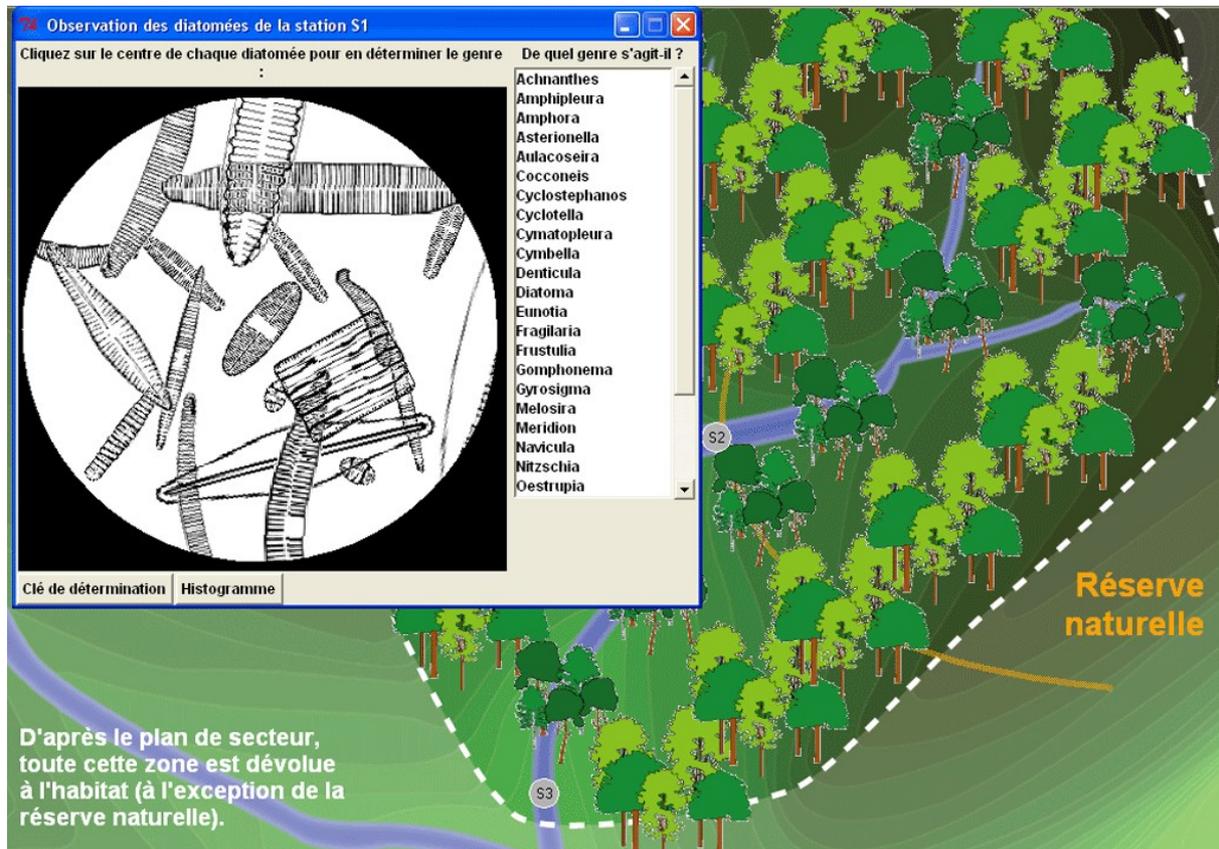
REGLE DE BASE

Avant toute action, étudier chaque point dans son contexte forestier naturel.

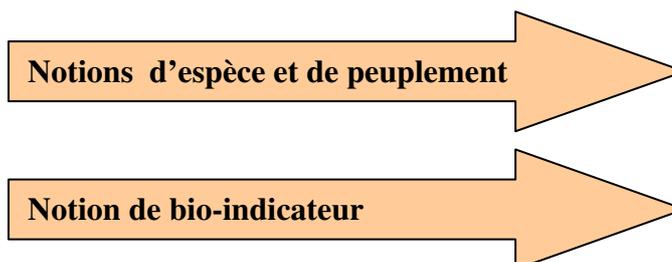
Ce sont les **états de référence** indispensables pour comprendre l'impact des actions de l'homme !

1.2. Cliquer sur une des stations.

Un cercle rempli de dessins de diatomées s'affiche : il symbolise un champ tel qu'on le voit avec un microscope. A droite, la liste des genres utilisés dans le logiciel. En dessous, un accès direct possible à la clé de détermination et à un histogramme qui sera expliqué plus loin.



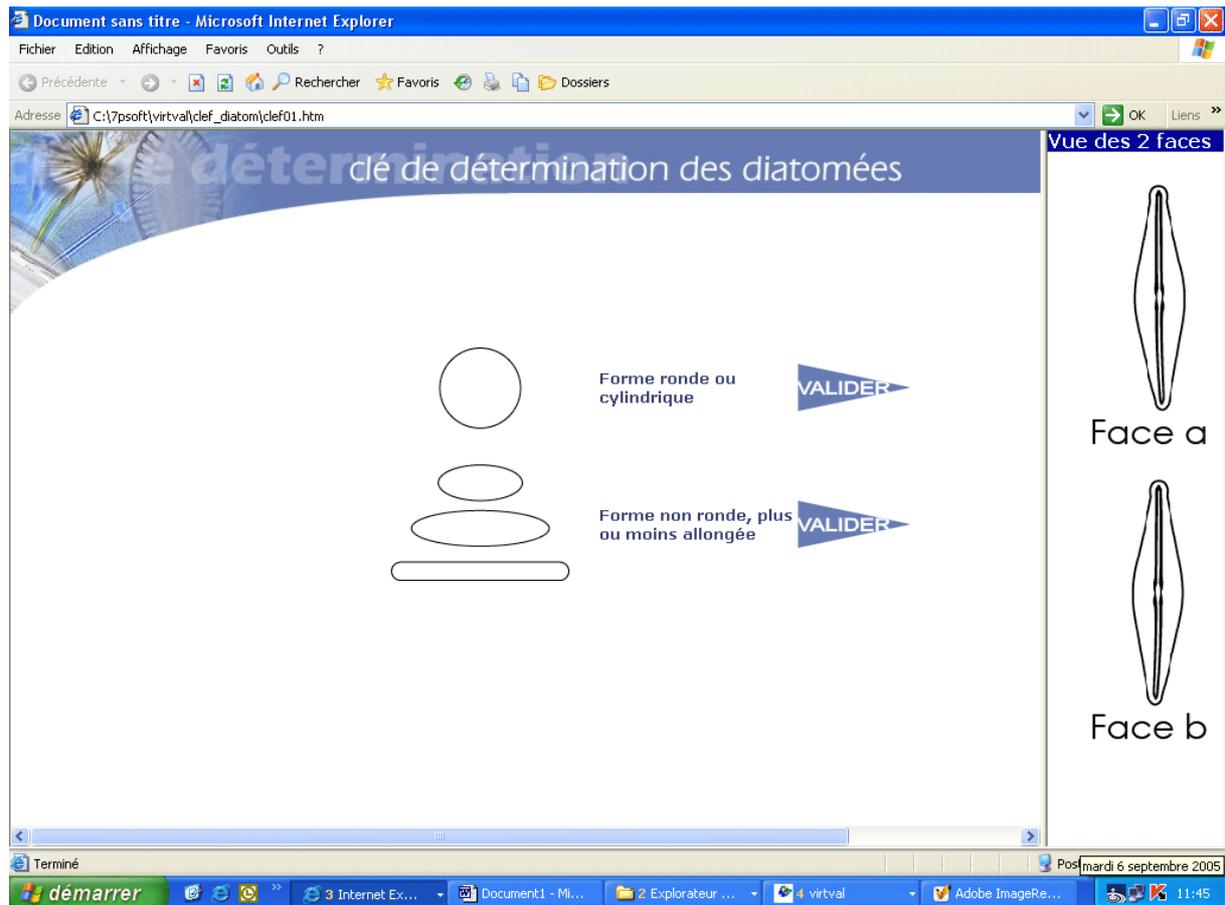
Dans chaque champ microscopique, 20 diatomées de plusieurs espèces différentes sont figurées, chacune représentant donc 5 % du peuplement complet. Le peuplement de diatomées apparaît donc comme une mosaïque d'espèces, certaines sensibles, d'autres plus ou moins résistantes aux pollutions, en fonction de la qualité de l'eau.



1.3. Cliquer sur une diatomée.

Il nous faut maintenant identifier chaque espèce (représentée par un ou plusieurs individus dans le champ microscopique) en cliquant dessus.

La clé d'identification s'ouvre automatiquement avec, dans un cadre à droite, le dessin précis des deux faces.



Suivre pas à pas la clé en lisant bien la **totalité** de chaque proposition et en consultant au besoin les définitions (cliquer pour cela sur les mots en caractères gras). Au bout du chemin, on arrive à un nom de genre : une fenêtre affiche le dessin des différentes espèces utilisées dans le logiciel. Comparez avec le dessin recherché ; si les dessins sont identiques, notez soigneusement le nom du genre et de l'espèce.

1.4. Fermer la fenêtre de la clé.

On revient ainsi au champ microscopique.

1.5. Cliquer dans la colonne de droite sur le nom de genre.

Si le nom de genre n'est pas correct, un message invite à faire un nouveau choix.

Si le nom de genre est correct, une fenêtre illustre les différentes

espèces utilisées dans , classées par ordre alphabétique. Cliquer sur le nom d'espèce trouvé dans la clé de détermination.

Si le nom est faux, un message s'affiche : il faut recommencer l'identification.

Si le nom est correct, tous les individus de cette espèce se colorent dans le champ microscopique. Les couleurs correspondent à 5 groupes écologiques :

CLE D'INTERPRETATION 1
espèces très sensibles à l'eutrophisation et à la pollution organique
espèces sensibles à l'eutrophisation et à la pollution organique
espèces favorisées par l'eutrophisation (enrichissement en nitrates et phosphates) mais sensible à la pollution organique
espèces résistantes à la pollution organique
espèces très résistantes à la pollution organique

Qu'est-ce que l'eutrophisation ?

C'est l'enrichissement des eaux stagnantes et courantes par des nitrates et des phosphates (appelés "nutriments") venant des activités humaines qui agissent comme des engrais et entraînent donc la prolifération des végétaux aquatiques (algues, plantes à fleurs). Pendant la nuit, les végétaux respirent sans émettre d'oxygène (puisque pas de lumière donc pas de photosynthèse). Quand il y a trop de végétaux, on observe donc un déficit d'oxygène de l'eau allant jusqu'à la mort massive et brusque des poissons.

Les nitrates et phosphates sont absolument nécessaires à la vie végétale mais ils sont en quantité très faibles dans les eaux naturelles qui présentent un bon équilibre et souvent une biodiversité élevée.

D'où vient l'eutrophisation? Deux sources sont possibles:

-ou bien les nitrates et les phosphates sont amenés directement au cours d'eau par les eaux qui ruissellent sur les sols agricoles qui reçoivent des engrais ou par les adoucisseurs d'eau qui utilisent des phosphates

-ou bien les matières organiques rejetées dans les cours d'eau par les égouts sont transformées lentement par des bactéries en nitrates et en phosphates. De la même façon, les stations d'épuration intensives qui utilisent des bactéries et de l'oxygène pour faire cette transformation (= épuration secondaire) plus rapidement rejettent de grandes quantités de nitrates et de phosphates. Quand ces stations sont équipées en plus d'un système pour éliminer ces éléments (précipitation chimique, lagunes plantées,...), on parle alors d'épuration tertiaire qui diminue l'effet négatif de l'eutrophisation.

Au niveau européen, la "Directive Cadre de l'Eau" prévoit que toutes les eaux usées devront être traitées par des stations d'épuration pour 2017. Mais comme beaucoup ne seront pas équipées d'un traitement tertiaire à cause de son coût élevé, ou en seront équipées ultérieurement, et comme les eaux de ruissellement des terrains agricoles ne transitent pas dans les stations d'épuration, nos cours d'eau resteront encore longtemps touchés par l'eutrophisation.

Pollution organique

La plupart de nos aliments sont composés de matières organiques (par définition, grosses molécules à base de carbone) qui ne sont pas toutes digérées. Le reste se retrouve dans les déjections puis, via les WC, dans les cours d'eau, entraînant une pollution organique. Elle provient des habitations, des élevages, aussi de certaines industries qui fabriquent nos aliments. Une fois dans le cours d'eau, les matières organiques sont attaquées (= minéralisation) par des bactéries: elles utilisent l'oxygène de l'eau pour les transformer progressivement (= auto-épuration) en gaz carbonique et en nitrates et phosphates responsables de l'eutrophisation. Ainsi, quand il y a beaucoup de matières organiques dans un cours d'eau, l'oxygène peut disparaître complètement: la plupart des végétaux et animaux aquatiques meurent alors d'asphyxie.

Au niveau européen, la "Directive Cadre de l'Eau" prévoit que toutes les eaux usées devront être traitées par des stations d'épuration pour 2017. En attendant, beaucoup de cours d'eau resteront pollués.

1.6. Cliquer maintenant sur une autre espèce et recommencer au point 4.

1.7. Procéder de même pour toutes les espèces du champ microscopique.

1.8. Quand toutes les espèces ont été identifiées et colorisées, cliquer sur « Histogramme »

Apparaît alors un histogramme donnant la proportion de chaque groupe écologique (voir clé d'interprétation 1) et la valeur de l'indice de qualité du cours d'eau suivant 5 classes :

CLE D'INTERPRETATION 2	
Indice de 5,0 à 4,3	Pollution organique et eutrophisation nulles
Indice de 4,2 à 3,6	Pollution organique et eutrophisation faibles
Indice de 3,5 à 3,0	Eutrophisation forte
Indice de 2,9 à 2,3	Pollution organique forte
Indice de 2,2 à 1,0	Pollution organique très forte

1.9. Fermer la fenêtre

On revient au bassin versant. Le point d'étude prend la couleur de la qualité de son eau et la valeur de l'indice s'affiche à côté.

1.10. Recommencer au point 3 en cliquant sur la deuxième station.

1.11. Recommencer au point 3 en cliquant sur la troisième station.

On dispose maintenant de la carte de la qualité initiale des eaux courantes.

1.12. Imprimer les résultats

La carte de qualité peut être imprimée via une saisie d'écran (Print Screen puis coller dans un document Word par exemple).

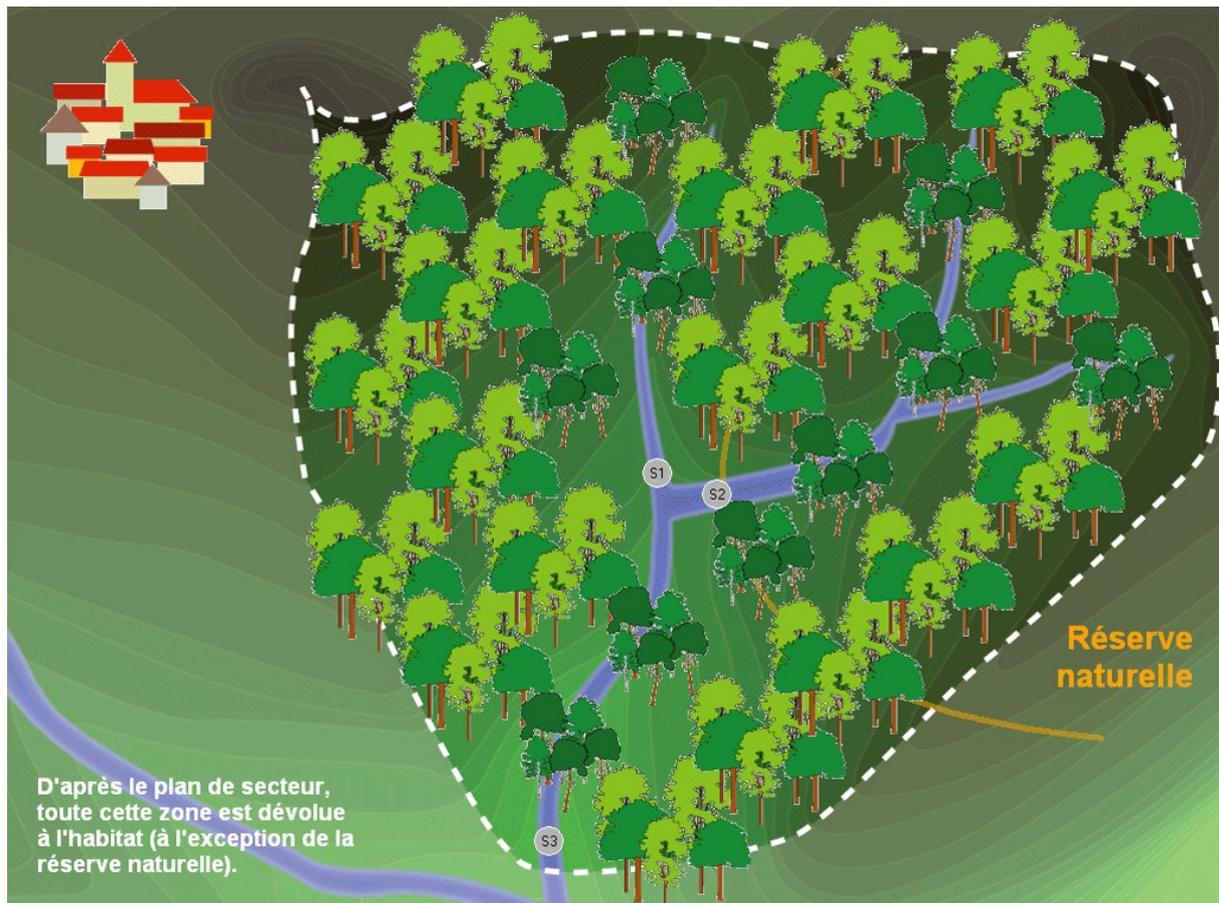
Les champs microscopiques colorisés après identification des espèces et les histogrammes des trois stations sont tous derrière la carte de qualité. Une fois remis en avant-plan, il est possible de les imprimer également via Print Screen.

On dispose alors de tous les éléments pour comparer et interpréter les résultats et on est prêt à entamer une action.

PHASE 2 : LES ACTIONS DEGRADANTES

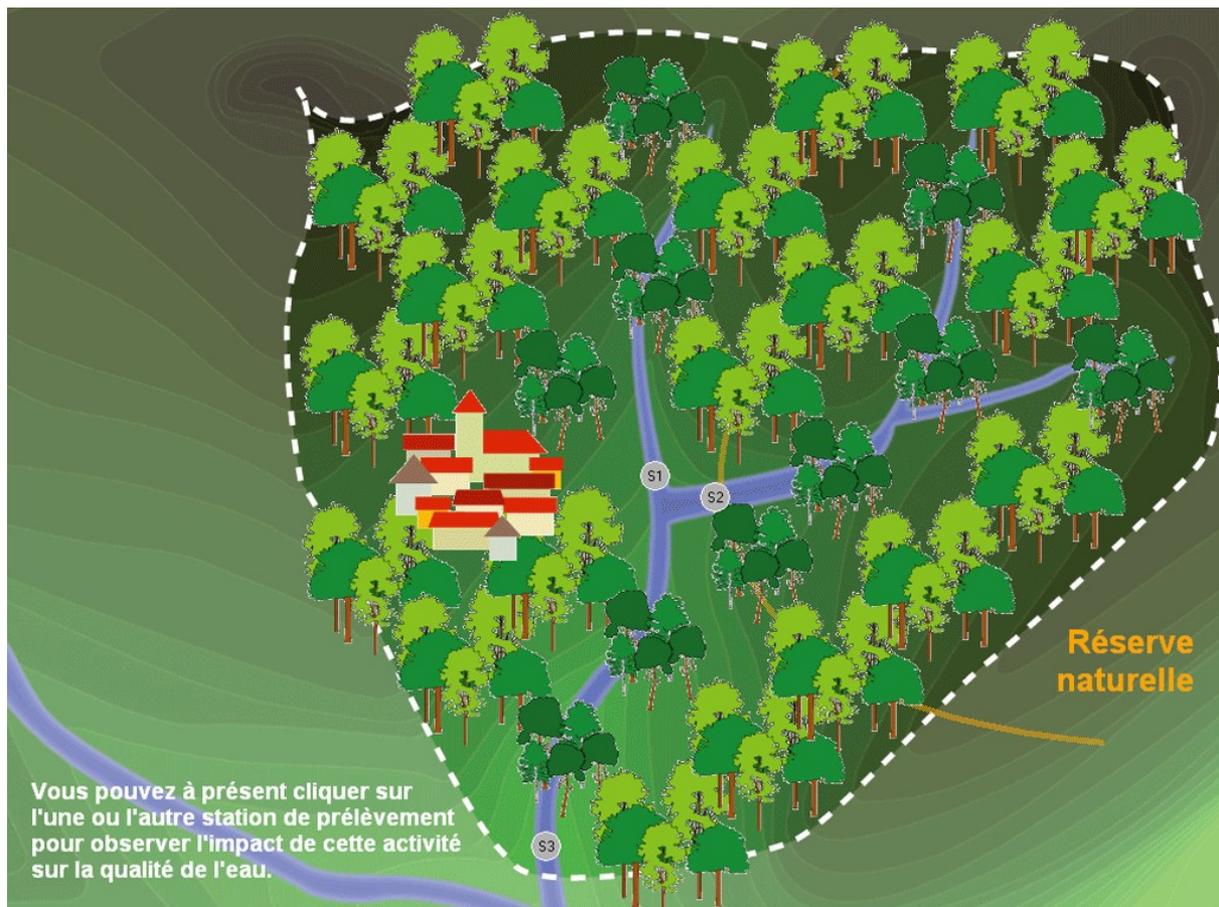
2.1. Choisir une action dans le menu.

Choisissons un village SANS STATION D'EPURATION qui apparaît sous forme d'un pictogramme.



2.2. Cliquer sur le pictogramme et le conduire jusqu'au lieu d'implantation souhaité.

On peut placer ce village plus ou moins loin du cours d'eau ou sur le cours d'eau. En lâchant le bouton de la souris, le village se fixe et fait disparaître la forêt.



Attention :

1. construire dans la réserve naturelle est une action interdite !
La station d'étude « S2 » de référence sera donc toujours de la même qualité.
2. On ne peut faire qu'une action par session de travail et le village placé ne peut plus être déplacé.

Des habitations génèrent forcément des eaux usées qui arrivent directement dans le cours d'eau si le village en est proche (pollution directe) ou indirectement s'il en est éloigné (pollution diffuse). Il faut donc s'attendre à une diminution plus ou moins forte de la qualité du cours d'eau suivant la position du village.

Suivant les courbes de niveau et donc le sens de l'écoulement des eaux, les stations d'étude S1 et(ou) S3 seront touchées.

2.3. Cliquer sur S1 et recommencer la procédure à partir du point 1.3.

2.4. Cliquer sur S2 et recommencer la procédure à partir du point 1.3.

2.5. Cliquer sur S3 et recommencer la procédure à partir du point 1.3.

2.6. A la fin de cette étude, on dispose de la carte de qualité des eaux après l'action choisie.

2.7. Imprimer l'écran.

PHASE 3 : LES ACTIONS DURABLES

Si on estime que l'eau du cours d'eau est trop dégradée, on peut choisir au menu d'équiper le hameau, le village ou la ville d'une station d'épuration.

3.1. Cliquer sur « Ajouter une station d'épuration » (= STEP)

Si on clique sur STEP 1 et 2:

Après construction d'un collecteur, les eaux usées arrivent toutes à la station d'épuration. En **épuration primaire**, on élimine les particules lourdes (sable,...) et les flottants (bouteilles en plastique,...). En **épuration secondaire**, des bactéries transforment les polluants organiques en nitrates et phosphates dont une part importante est rejetée dans le cours d'eau.

Si on clique sur STEP 1, 2 et 3 :

Après construction d'un collecteur, les eaux usées arrivent toutes à la station d'épuration. En **épuration primaire**, on élimine les particules lourdes (sable,...) et les flottants (bouteilles en plastique,...). En **épuration secondaire**, des bactéries transforment les polluants organiques en nitrates et phosphates dont une part importante est assimilée par des plantes ce qui constitue l'**épuration tertiaire**.

La STEP se place à côté de la zone d'habitat.

3.2. Recommencer une ou deux fois la procédure à partir du point 1.3. en cliquant sur la station d'étude S1 et(ou) S3.

On obtient une nouvelle carte de qualité.

3.3. Imprimer la carte.

3.4. Comparer et interpréter les résultats des différentes cartes (indices et histogrammes) suivant les clés d'interprétation 1 (point 1.5.) et 2 (point 1.8.).

NOTE 1

Dans le bassin versant 1, on peut encore améliorer la situation en choisissant d'ajouter à la STEP un traitement tertiaire qui diminuera le rejet de nitrates et de phosphates et donc l'eutrophisation.

NOTE 2

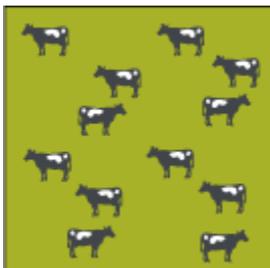
Les bassins versants 2 et 3 peuvent être traités de la même manière.

Bassin versant 2

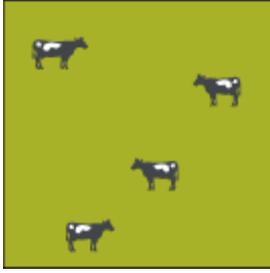
Les sols pauvres seront utilisés par l'élevage, à l'exception de la zone forestière en tête de source.

On peut y appliquer les 3 phases :

-Aucune action : états de référence en forêt



-Actions dégradantes : pâtures intensives (nombre élevé de têtes de bétail et emploi d'engrais et lisiers pour augmenter la production de fourrage)



-Actions durables : passage aux pâtures extensives (moins de bêtes, moins d'amendement).

Bassin versant 3

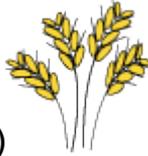
Les sols fertiles seront utilisés par la culture, à l'exception de la zone forestière en tête de source.

On peut y appliquer les 3 phases :

-Aucune action : états de référence en forêt

-Actions dégradantes : cultures intensives (emploi important d'engrais et

de pesticides)



-Actions durables : passage aux cultures biologiques (moins d'engrais et

de pesticides).



NOTE 3

Lorsque on a identifié un genre via la clé, s'il y a une autre espèce de ce genre dans le champ microscopique, le logiciel proposera de suite les espèces sans plus devoir identifier le genre en question. On suppose donc que les caractéristiques des genres ont été mémorisées lors de la première démarche d'identification.

NOTE 4

Parmi les options du menu, il est possible de demander la procédure automatique. Elle permet à l'enseignant de préparer plus rapidement l'utilisation du logiciel par les élèves et d'essayer plus rapidement différents cas de figure.

Pour ce faire, on procédera comme suit :

- choisir le bassin versant
- cliquer sur une station : le champ de diatomées apparaît à l'écran
- demander la procédure automatique
- cliquer sur « histogramme » : on obtient de suite l'histogramme complet et la valeur de l'indice, sans devoir identifier les diatomées.

Quand on revient à la carte, le point d'étude se colore et la valeur de l'indice se place à côté.

On suit cette procédure pour les autres points et on obtient rapidement la carte de qualité.

NOTE 5

Le logiciel ne permet pas encore la constitution automatique d'un bulletin d'analyse qui reprendrait les différentes cartes de qualité et les différents histogrammes. Il appartient donc à l'utilisateur d'imprimer chaque histogramme lorsque toutes les espèces ont été identifiées puis d'imprimer la carte de qualité. Il notera soigneusement quelle(s) action(s) a(ont) été menée(s) pour l'obtention de cette carte.

GUIDE D'INTERPRETATION ET CODE DES COULEURS

Les aspects pris en compte par  sont

- les eaux naturelles (couleurs bleue et verte),
- la pollution organique (couleurs rouge et orange) et son traitement par des stations d'épuration,
- l'eutrophisation (couleur jaune),
- l'autoépuration dans le cours d'eau (passage progressif du rouge au bleu).

Avec ce code de cinq couleurs, il est possible d'interpréter avec précision chaque situation.

ETATS DE REFERENCE

En forêt et en réserve naturelle, en l'absence d'influence humaine, l'indice de qualité sera élevé et apparaîtra en bleu ou vert, le champ microscopique sera dominé par des espèces colorées en bleu et vert et l'histogramme sera dominé par les groupes écologiques très sensible (bleu) et sensible (vert).

Suivant que l'on travaille avec le bassin 1, 2 ou 3, on observera des espèces de diatomées sensibles différentes adaptées aux eaux dystrophes très acides, oligotrophes acides ou neutres et eutrophes calcaires.

On peut donc, avec les élèves, travailler horizontalement (comparaison des différents types naturels de cours d'eau).

ACTIONS DEGRADANTES

Le placement d'une zone construite non épurée à proximité immédiate du cours d'eau entraînera une pollution organique plus ou moins importante suivant le nombre d'habitants. L'indice faible pourra correspondre à une pollution très forte (rouge) ou forte (orange), le champ microscopique sera dominé par les espèces colorées en orange et rouge et l'histogramme sera dominé par les groupes écologiques très résistant (rouge) et résistant (orange).

Une fois dans le cours d'eau, les matières organiques se transforment lentement en nitrates et phosphates responsables de l'eutrophisation. Ce processus d'autoépuration se traduit par la disparition des espèces très résistantes et résistantes et par leur remplacement par des espèces favorisées par l'eutrophisation (couleur jaune). L'indice augmente (couleur jaune), le champ microscopique est dominé par la couleur jaune et l'histogramme par le groupe écologique des espèces favorisées par l'eutrophisation (en jaune).

Si on place la zone construite loin du cours d'eau, l'écoulement des eaux usées peut être diffus et la pollution diminuer dans les sols avant d'arriver au cours d'eau. Dans ce cas, on assiste souvent à une eutrophisation (dominance du jaune) et non à une pollution organique.

Les zones d'élevage intensif, suivant leur taille, leur éloignement au cours d'eau et le nombre de bêtes, entraîneront une contamination permanente mais diffuse surtout par des nitrates et des phosphates

(engrais minéraux) et plus ponctuellement par des matières organiques (lisiers). Les cours d'eau s'en trouveront plus ou moins eutrophisés.

Il en sera de même pour les zones de culture intensive, celles-ci recevant cependant des doses d'amendement plus élevées entraînant des niveaux d'eutrophisation plus élevés dans les cours d'eau.

ACTIONS DURABLES

Si, à une zone construite, on ajoute une station d'épuration primaire et secondaire, celle-ci rejetant des quantités importantes de phosphates, on notera une eutrophisation. Un tel type de station imite l'autoépuration du cours d'eau en l'intensifiant.

Si on complète la STEP par un traitement tertiaire, on rejette encore moins de phosphates et nitrates. Cette diminution ajoutée à l'autoépuration qui continue dans le cours d'eau entraîne une nouvelle augmentation de l'indice (couleur verte puis bleue si le temps d'autoépuration est long) par développement des espèces sensibles (en vert) et très sensibles (en bleu).

Enfin, si on applique de l'élevage extensif ou de la culture biologique, les niveaux d'eutrophisation des cours d'eau seront moins élevés qu'en système intensif.

Les indices calculés synthétisent par un nombre l'information donnée par la composition du peuplement :

Indice de 5,0 à 4,3	Pollution organique et eutrophisation nulles
Indice de 4,2 à 3,6	Pollution organique et eutrophisation faibles
Indice de 3,5 à 3,0	Eutrophisation forte
Indice de 2,9 à 2,3	Pollution organique forte
Indice de 2,2 à 1,0	Pollution organique très forte

Les histogrammes (abondance cumulée des espèces de même écologie, 5 groupes écologiques) montrent de façon plus détaillée l'évolution du peuplement, des faciès les plus pollués aux faciès autoépurés.

