ECOLOGIE, ENVIRONNEMENT ET BASES DE DONNEES

FONDEMENT SEMANTICO-CONCEPTUEL DES DONNEES ECOLOGIQUES

par

Patricio SOTO

ingénieur informaticien INRA
responsable de la base de données
agro-écologique : ECORDRE
(Agropolis-Montpellier)

1991

INTRODUCTION GENERALE

Tous les systèmes écologiques sont aujourd'hui sous influence humaine de sorte que les caractéristiques des actes humains (agronomiques, aménagements hydrauliques, mouvements d'éléments, y compris polluants, ...) sont partie intégrante de la description de ces systèmes.

Le développement d'une gestion informatisée et uniformisée des données écologiques est une nécessité actuelle qui exige toutefois une clarification conceptuelle. Si chaque discipline, concourant à l'étude des systèmes écologiques, a ses caractéristiques propres (caractéristiques décrivant les éléments chimiques, les horizons de sols, les débits de cours d'eau, les travaux aratoires, les récoltes céréalières, les états forestiers, ...), il est indispensable d'avoir un minimum de langage commun pour comprendre la situation des caractéristiques dans les systèmes écologiques et les étapes d'acquisition, gestion et traitement des données.

Les systèmes d'information en environnement sont actuellement des moyens techniques permettant la gestion de l'information dont l'homme dispose sur son environnement. Il s'agit essentiellement de moyens informatiques de saisie de données, de gestion-conservation, de traitement et d'édition de l'information.

Selon les objectifs et les moyens disponibles ces systèmes peuvent être très divers quant à leur objet (nature des données prises en compte), à leurs objectifs (répondre à une demande finalisée précise ou générale), à leurs moyens financiers et à la puissance et convivialité des machines et logiciels mis en oeuvre.

Nous proposons ici cette base sémantico-conceptuelle, nécessaire pour la conception et la réalisation de bases de données, pour la description de toute donnée issue de l'écosphère dans le cadre d'une approche systémique, ceci permettant les échanges transdisciplinaires et ouverts des sciences liées à l'écologie.

Cette base sémantico-conceptuelle a été peu à peu développée à partir d'une pratique de l'écologie visant à rendre celle-ci à la fois rigoureuse et opérationnelle (Bouché, 1990). L'auteur a été associé, dans un travail d'équipe, au développement informatique et conceptuel de cette nouvelle branche de l'écologie appliquée à l'agriculture et à l'environnement.

Au cours de ce développement bien des concepts ont été éprouvés dans la pratique et une terminologie rigoureuse a dû être peu à peu dégagée afin de rendre possible de façon efficace l'intégration des connaissances. Le présent ouvrage est d'abord destiné à faciliter la mise en oeuvre pratique des indispensables bases de données avan-

cées, à la fois puissantes, efficaces et adéquates pour gérer la complexité des informations issus des (agro-) écosystèmes alors que l'ouvrage de Bouché 1990 justifie le fondement de l'écologie sur des bases rigoureuses afin que cette science devienne réellement opérationnelle.

En conséquence de ce travail d'équipe, on ne s'étonnera donc pas des nombreuses citations de définitions voire de développements, déjà formulés *in* Bouché 1990.

Ce sont ces développements appliqués qui nous ont démontré, d'abord au niveau circonscrit de la problématique d'un laboratoire, puis en les testant sur des applications tout à fait transdisciplinaires, l'intérêt stratégique des Bases de Données Relationnelles qui comme leurs noms l'indiquent, permettent de relier les données entre elles quelle soit la discipline qui les a produites.

Ces applications, aujourd'hui indispensables à une véritable intégration en agronomie et en environnement, on nécessité une conceptualisation écologique rigoureuse qui ensuite nous a permis de gérer des données issues d'équipes diverses et allant de l'ornithologie au poisson, des lombriciens au machinisme, de la végétation au traitement pesticide et au type de sol.

En permettant une gestion ordonnée de l'information exhaustive, non bornée par un objec-

tif sectoriel, ces bases rendent possibles des échanges qui sont optimisés au niveau des bases elles-même. Elles constituent des modules qui, fédérés et couplés à des réseaux, permettront une mobilisation quasi-instantanée des données objectives quelque soit leur origine disciplinaire ou géographique.

Les progrès spectaculaires de l'informatique nous donnent dès aujourd'hui, ou dans le très proche futur, des outils d'Intelligence Artificielle permettant une véritable maîtrise de la complexité des (agro-) écosystèmes et de la grande diversité de nos relations avec ceux-ci. Malheureusement, il ne suffit pas de disposer de machines sophistiquées et de logiciels performants si on ne ré-évalue pas les pratiques nécessairement sectorielles dans un cadre global en s'appuyant sur ces fondements sémantico-conceptuels univoques, transdisciplinaires et éprouvés par la pratique.

Le présent ouvrage vise à réduire le divorce qui existe entre l'inadéquation des pratiques sectorielles et l'existence d'outils d'intégration indispensables mais encore mal employés. Il expose ces fondements sémentico-conceptuels, préalables indispensables à l'usage de ces outils.

1. L'ECOLOGIE ET LES DISCIPLINES CONNEXES

1.1. Introduction

Comme toute science, l'écologie a un objet d'étude général et des domaines particuliers impliquant des méthodes, des procédés, des techniques, des observations de faits, une reconstitution synthétique, etc. Ceci implique un langage associé à ces opérations, les mots recouvrant des concepts traduits par une définition plus ou moins précise.

La difficulté provient du fait que les langages utilisés, sont très souvent incompatibles les uns avec les autres. Dès que l'on veut échanger on constate que les termes utilisés sont employés avec des sens différents et encore plus avec des précisions très variables.

Les défauts sémantiques proviennent aussi d'une nécessité sociale entre chercheurs s'unissant pour tendre à une cohérence ; dans un premier temps, cela conduit à masquer, sous des vocables flous, l'hétérogénéité initiale des concepts pour ne pas soulever à tout instant trop de questions. Enfin, à quoi sert-il de définir avec rigueur un élément quelconque dont on sait que les techniques d'études ou les moyens financiers ou humains disponibles ne permettent pas la mesure ou l'observation précise ? Les difficultés techniques initiales ont, d'une certaine façon, "justifié" un certain laxisme lexical. Mais cette situation se retourne, faute de concepts

précis, les échanges sont mauvais, car chacun est attaché à son langage, justifié ou non.

Les échanges entre écologues, ayant subi des influences différentes, sont en conséquence difficiles ; ce qui est rigoureux pour l'un, est flou pour l'autre, ou encore le même terme peut avoir deux significations différentes (car adoptées à partir de disciplines différentes), enfin le même phénomène perçu par divers écologues praticiens ou fondamentalistes sera décrit et formulé mathématiquement de façon indépendante.

Correcte, oui, mais par rapport à quoi ? Les avis sont partagés, divers, et chaque scientifique a une opinion à la fois nuancée et particulière. Il sera volontiers exigeant pour un mot dont il a l'usage et inattentif au sens d'un autre terme, important mais externe à sa pratique.

Nous essayerons d'approfondir et d'éclaircir une série de concepts généraux permettant une contribution méthodologique aux démarches actuelles pour le développement d'une écologie opérationnelle, ouverte et transdisciplinaire.

1.2. L'écologie

<<Nous entendons par ECOLOGIE la science globale des relations des organismes avec leur monde extérieur environnant dans lequel nous incluons, au sens large, toutes les condi-

tions d'existence>> (HAECKEL, 1866b. trad. BOUCHé, 1980a).

Cette définition mérite une lecture attentive pour analyser chaque propriété de la définition et en déduire ce qui est dans et hors le domaine de cette discipline.

1) L'écologie est une science. HAECKEL utilise dans ses nombreux travaux ce mot (Wissenschaft) au sens précis, moderne, de science exacte. L'écologie devra donc dans ses démarches suivre les méthodes des sciences exactes, *a contrario* elle ne saurait couvrir des domaines techniques, philosophiques ou politiques, même si elle peut contribuer à l'élaboration de (ou influencer) ces domaines.

2) Cette science a trait aux organismes pris individuellement ou dans leur ensemble. Elle se réfère donc, entre autres, à un individu ou à la somme de tous les individus. Par contre, elle ne concerne pas directement les propriétés internes des organismes (régulation physiologique interne, histologie, etc.). Si l'écologie peut évidemment utiliser les connaissances acquises sur ces propriétés, celles-ci ne sont pas son objet d'étude.

3) L'écologie étudie les relations des organismes vivants avec leur monde extérieur environnant (= leur milieu). Il y a symétrie. L'écologie porte autant sur l'étude des organismes que sur le milieu (environnement) de ces organismes, c'est-à-dire les autres organismes, mais aussi les éléments physico-

chimiques non vivants : l'écologie n'est donc pas qu'une science biologique mais a trait aussi à d'autres objets analysés par certaines disciplines (minéralogie, climatologie, pédologie, géologie, hydrologie, etc.).

4) L'écologie étudie les relations des organismes vivants avec leur milieu... y compris toutes les conditions d'existence. Toute étude écologique devra donc restituer directement, ou se référer explicitement et de façon démonstrative au milieu permettant toutes les conditions d'existence de l'organisme (ou des organismes en cause).

5) L'écologie, étant une science globale porte d'abord sur l'ensemble des conditions d'existence. L'écologie ne peut évidemment pas se refuser les informations apportées par des données analytiques mais celles-ci n'ont de valeur que si elles restent (ou peuvent être scientifiquement restituées) dans un cadre général et cohérent. Toute démarche analytique en écologie se fait pour une conclusion synthétique. Une approche exclusivement réductionniste ne peut pas être écologique.

6) Organisme(s) et milieu sont envisagés globalement dans leurs relations (à actions réciproques). Nous sommes en présence d'un ensemble d'éléments dépendant les uns des autres et formant un tout organisé c'est-à-dire un système. Ce dernier point n'est pas, pour des raisons historiques, explicite dans la définition mais découle de ses propriétés puisque au moins deux compartiments (organisme(s) + milieu(x)) et leurs relations en découlent explicitement.

En conclusion, l'écologie, de par sa définition originale, est une science visant à une compréhension générale, intégrée, "totale" des relations de tout organisme ou groupe d'organismes avec l'ensemble des éléments environnant ceux-ci. L'écologie étudiera autant ces éléments environnants que les organismes et de telle sorte que ses résultats, ses démarches s'appliquent à des relations ayant prévalu et prévalant dans l'édification de ces rapports.

1.3. Ecologie et sciences humaines

L'écologie porte sur les **systèmes écologiques**, c'est-à-dire des systèmes d'échanges entre les différentes parties biologique, organique et inorganique de l'écorce terrestre, ces systèmes suivent exclusivement les lois biophysico-chimiques dans leurs régulations internes et dépendent de variables externes. Parmi ces variables externes, il y a les actions humaines ou actes.

On pourrait considérer l'homme comme un être vivant parmi les autres répondant aux lois biophysico-chimiques et inclure ainsi les activités humaines dans les systèmes écologiques, mais celui-ci a développé au cours de son évolution une aptitude intellectuelle tout à fait inaccoutumée non observable dans la totalité des systèmes biophysico-chimiques.

La rationalité des décisions humaines relève des études conduites par les sciences humaines (économie, psychologie, politique, sociologie, ...) même si l'homme comme tout élément de système écologique dépend de son environnement global, les motivations de ces actes ne sont pas *ipso facto* la résultante d'une interaction simple homme-environnement à la différence des autres événements biophysico-chimiques de **l'écosphère** c'est-à-dire de la partie de la sphère terrestre où vivent les organismes vivants, envisagée notamment du point de vue des relations entre ces organismes et leurs milieux [GILLARD 1969]. D'une façon générale, l'homme s'est largement affranchi des systèmes écologiques et réciproquement agit sur ceux-ci d'une façon souvent indépendante de leur nature intime. Par exemple, la mise en production d'un nouveau pesticide peut dépendre des liquidités financières de l'entreprise, elle-même influencée par la cotation d'une valeur mobilière dépendante de la tenue de la bourse. De même, pour le choix du matériel de traitement, le choix des méthodes culturales conduisant au traitement pesticide qui finalement agit seul concrètement sur le système écologique..., etc. L'étude de ces processus de décision humaine relève de recherches socio-économiques et non de celles des relations des organismes avec leur milieu : elle relève des sciences humaines et non de l'écologie *stricto sensu*.

L'écologie étudiant les relations des organismes avec leur monde extérieur environnant "au sens le plus large" ne peut exclure les multiples actions humaines dans cet environnement (par exemple, l'agriculture). On sait qu'elles sont omniprésentes dans toute l'écosphère, à commencer par les transferts d'éléments artificiels créés par l'homme (par exemple DDT) ou largement produits sous son contrôle (CO_2, césium radioactif, ...). Aucun système écologique ne fonctionne sans les conséquences d'actes humains.

1.4. L'écologie et l'interdisciplinarité

L'écologie, comme toute science exacte, a son propre domaine d'étude et ses démarches et simultanément interfère avec de nombreuses autres divisions des sciences exactes (et humaines).

Il en ressort que l'écologie hérite des concepts, donc du vocabulaire, de formulations synthétiques et d'un renouvellement des concepts dans chaque discipline concourant à l'écologie. A cela s'ajoute la diversité des sources (physiques, chimiques, biologiques, naturalistes et techniques).

On constate en fait que, pour des raisons d'efficacité évidentes, les diverses disciplines n'abordaient qu'une partie "réduite" de l'écologie ; ce réductionnisme historique pèse toutefois très

lourd sur les pratiques et concepts dont l'écologie a hérités.

D'un point de vue opérationnel, il faut surmonter la contradiction de la nécessaire collaboration entre experts et du caractère réduit et spécialisé de la perception de chaque intervenant apportant des données objectives, seules bases sérieuses de réfutation.

Il est facile de concevoir que chaque discipline soit conduite au cours de ses progrès à élaborer son vocabulaire, ses formules, sa présentation particulière des connaissances ; ceci est normal. Il n'en reste pas moins que l'écologie se doit d'avoir une présentation unitaire avec un vocabulaire univoque et rigoureux.

Le choix de ce vocabulaire ne peut et ne doit pas se faire en ignorant celui des disciplines connexes car comme toute science, l'écologie n'est qu'une contribution particulière aux connaissances et son aptitude à transmettre dépend de ces choix.

Il en découle que :

1) Dans toute la mesure du possible les termes retenus doivent être ceux qui sont consacrés par la discipline connexe.

2) Toutefois, des difficultés existent lorsque le même terme est utilisé avec des sens différents, parfois partiellement différents dans deux disciplines adjacentes et sécantes à l'écologie.

3) Les néologismes sont évidemment indispensables pour désigner des objets ou concepts nou-

veaux. Mais la tentation du néologisme pour exclure des malentendus est toutefois lourde de conséquences car elle conduit des fois à des non-entendus devant ce terme nouveau, incompris.

1.5. Ecologie et réfutabilité

L'objet d'étude de l'écologie, n'est perçu que par des faits, leur interprétation implique un choix d'hypothèses conduisant à un modèle physique, mathématique et théorique. L'étendue de l'écologie fait que cette approche du global se fait à partir de points de vue, de séries de faits, toujours partiels et incomplets. L'aptitude d'une théorie est dans sa généralisation. C'est la généralité qui permet d'inférer au global des propriétés observées sur des cas particuliers. Comme l'écologie, sa théorie ne peut être que globale, son élaboration ne pourra s'effectuer qu'après une acquisition de données et une élaboration des informations sur les systèmes écologiques.

En l'état actuel toutefois, les interprétations écologiques restreintes tendent à contribuer à cette théorie générale et il est essentiel de rendre réfutables celles-ci et de pratiquer une intégration et un contrôle permanent des connaissances. Une interprétation sera réfutable lorsqu'elle permettra de prédire des résultats vérifiables.

2. L'INFORMATION ECOLOGIQUE

2.1. Introduction

Toute connaissance sur les << **relations des organismes avec leur monde extérieur environnant** >> constitue une information écologique. Acquérir de telles informations, les ordonner, les interpréter constitue la tâche primordiale de l'écologue.

En raison de l'extraordinaire complexité de l'écosphère et de son étendue, le travail journalier de l'écologue, ou du technicien dans la **biosphère** (Figure 1) c'est-à-dire l'ensemble des organismes vivants animaux et végétaux qui vivent à la surface du globe [CDAF 1842], ne peut être appréhendé à la fois en totalité et en détail.

L'un des problèmes majeur concret des démarches écologiques est donc de permettre à la fois les études les plus fines et précises nécessaires pour comprendre des systèmes écologiques partiels, et simultanément d'inscrire concrètement ces observations particulières dans les ensembles généraux pour obtenir à la fois une perception globale (par exemple, le bilan des échanges du CO_2 dans l'écosphère, dans le cadre du cycle du carbone) et une connaissance des mécanismes y contribuant (par exemple, la respiration/photosynthèse de telle espèce végétale). Ce problème majeur ne sera pas

résolu sans une rigueur dans l'élaboration des connaissances.

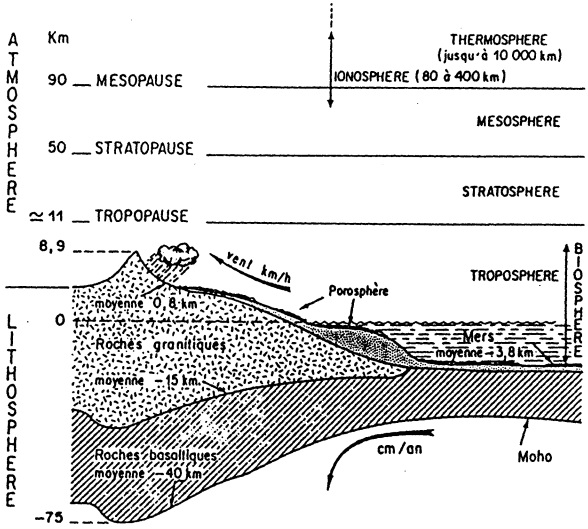

Figure 1 : *Stratifications gravitaires des éléments du géoïde terrestre. Distance en km par rapport au niveau des mers* (d'après EHRLICH et al., modifié).

Le domaine de l'écologie est très étendu. Science globale recouvrant tous les lieux où des organismes vivent dans leur milieu, elle porte sur toute l'écosphère. Certaines études écologiques peuvent toutefois être circonscrites à l'étude des relations des caractéristiques du milieu prévalant autour d'un individu, par exemple d'une plante. Les écologues peuvent ainsi considérer des espaces allant de la dizaine de milliers de kilomètres carrés au micromètre carré ! Les observations écologiques portent de même sur des durées temporelles diffé-

rentes : un débit respiratoire est observable en quelques secondes, un déplacement d'une cohorte d'animaux sur de grandes périodes de temps, allant d'une saison à plusieurs dizaines d'années, voire, par une documentation historique ou paléogéographique, une reconstitution paléo-écologique peut porter sur des dizaines ou des centaines de millions d'années, notamment pour tenter de reconstituer l'évolution qui a abouti aux relations écologiques actuelles.

Une telle variété d'échelles de temps et d'espace ne va pas sans difficultés. Une des difficultés apparente majeure de la démarche écologique réside dans ces changements d'échelle : une approche globale de l'écologie oblige à adopter pour chaque étude un domaine de l'échelle spatio-temporelle. Cette difficulté peut aujourd'hui être surmontée, mais exige pour cela une élaboration et gestion sérieuse des données.

Toutefois, il ne s'agit pas d'un objet inaccessible, si la gestion des connaissances, fondée objectivement sur les informations écologiques est effectuée rigoureusement, ce qui devient chaque jour plus efficace par les progrès et l'avènement d'outils notamment informatiques. La gestion de l'information écologique doit être faite de telle sorte que les données acquises à une échelle spatio-temporelle soient utilisables à d'autres niveaux de perception de façon méthodologiquement critique.

Ajoutons enfin que les caractéristiques écologiques observées peuvent être perçues, et de fait acquises, à des niveaux de perception très différents. Par exemple et de façon toujours plus réductionniste, on peut enregistrer un climat régional à l'intérieur de celui-ci, une prairie et dans celle-ci un faciès de végétaux associés et pour celui-ci noter le profil d'un sol où l'on observe un horizon dont on peut décrire l'azote total, ou seulement son état ammoniacal NH_4^+ et dans ce dernier la fraction de l'isotope ^{15}N.

Plus difficiles peut-être seront les études portant sur des caractéristiques concrètes rapportées à un objet spatio-temporel abstrait, tel le débit d'une substance dans une portion d'écosystème exprimé en $q/s/m^2$ (q = quantité, s = seconde, m^2 = mètre carré) où la seconde est une unité de temps arbitraire quelconque se référant en fait à un phénomène instantané et où le m^2 est également un arbitraire quelconque (dans la nature, tous les mètres carrés sont fonctionnellement différents et hétérogènes, dans leur surface, etc.). Il s'agit en fait d'une quantité se rapportant à un point, débitée de façon instantanée, qui est mesurable et exprimée par nécessité technique dans des unités spatio-temporelles conventionnelles.

Les changements d'échelles se font avec une relative aisance lorsque l'on réfère les données à des échelles métriques d'espaces et de temps. Ces changements d'échelle sont quelque peu délicats

lorsque ces références sont non métriques, nous sommes amenés alors à parler de station, région, ... pour indiquer ces changements.

Ainsi la notion de niveau de perception, développée notamment par les phyto-écologues [LONG, 1974], permet une première hiérarchie qualitative des objets d'étude dans l'espace (Tableau 1-1) temps négligé.

Niveau de perception	**Unités de végétation**	**Variables écologiques**
ZONE écologique	ex. zone des forets	latitude climat gén.
REGION écologique	ex. maquis garrigues	relief gén. act. homme
SECTEUR écologique	ex. divers maquis ou garrigues	topographie exploit.des ressources
STATION écologique	ex. formes végétation	microrelief act.animaux
ELEMENT écologique	ex.portion de formes végétation	variables biotiques micro-orga nismes

Tableau 1-1 : *Niveaux de perception écologique* (d'après LONG 1974, simplifié).

2.2. Démarches analytiques, synthétiques et globales

Le niveau d'observation, situe dans le spatio-temporel toute caractéristique entre le plus global et le plus particulier. En fait, toute caractéristique peut être décomposée en parties plus élémentaires et réciproquement entre dans la composition d'un système plus large.

Pour l'interprétation écologique, le niveau d'observation n'a *a priori* aucune importance, si ce n'est d'un point de vue d'efficacité du choix de la composition optimale à étudier pour un objectif de recherche précis. Il faut toutefois bien distinguer les démarches d'analyse (recherches de caractéristiques plus élémentaires, à partir d'un caractère plus général) de la synthèse (reconstruction à partir de caractères détaillés d'un ensemble synthétique) et de la globalité (qui d'emblée observe une caractéristique à un niveau de composition donnée). Une synthèse ne peut contenir que la résultante des analyses et des hypothèses la sous-tendant : elle ne correspond pas *ipso facto* à la globalité qu'elle tend à représenter.

Confronter le résultat d'une synthèse à une information globale constitue un important moyen de vérifier la qualité des choix d'analyse et des choix de traitement effectués dans la démarche d'analyse-synthèse.

En pratique, pour toute démarche intellectuelle relative à l'élaboration des connaissances écologiques, on réfère le travail *ipso facto* à deux niveaux d'observation ; par exemple les plantes de la prairie, le taux de carbone du sol, la croissance printanière, le débit de la rivière, etc. Il y a un niveau N global (prairie, sol, printemps, rivière, dans les exemples ci-dessus) auquel se rapporte certaines caractéristiques analytiques (réduites ou analytiques, en ce sens qu'il ne s'agit que de quelques caractéristiques parmi beaucoup d'autres propres aux niveaux N). Ces caractéristiques analytiques (respectivement chaque plante, le taux de carbone, un état de croissance, le débit) décrivent une partie de la composition du niveau N et appartienne à un niveau inférieur (plus analytique) égal à N-1.

Opérationnellement, on envisage donc toujours au moins deux niveaux d'observation, l'un par rapport à l'autre. On peut évidemment changer de paire de niveaux d'observation et considérer ensuite soit un niveau supérieur (plus global) égal à N+1, telle la croissance annuelle (incluant N, la croissance printanière) soit un niveau inférieur égal à N-2 (telle un organe d'une plante de la prairie). Mais du point de vue opérationnel, nous faisons en ce sens une option qui ne peut porter que sur une paire de niveaux d'observation ou sur un seul niveau à chaque opération.

2.3. Le champ écologique

Toute information écologique se situe à l'intérieur d'un hyper-espace ayant, entre autres, les trois dimensions orthogonales de l'espace habituel (= euclidien) et le temps. Elle est elle-même une indication particulière (information particulière : un chou ; 15 % d'azote ; 25 millibars) résultant d'une analyse l'isolant d'un ensemble plus vaste d'autres informations du même espace-temps ; elle est un élément de la composition de la portion d'espace-temps prise en compte.

Les informations issues de la composition peuvent être recomposées en ensembles moins analytiques ou au contraire précisées par des analyses plus fines. La composition peut enfin s'exprimer selon une infinité de niveaux d'observation analytiques allant du global au plus particulier selon des modalités techniques définissables. La composition est l'ensemble des caractéristiques que l'on peut attribuer à un objet d'étude (= de niveau d'observation quelconque) quelle que soit l'analyse. La somme des informations possibles constitue donc un hyper-espace très complexe et souvent hiérarchisé. Une portion d'espace peut comporter une branche d'arbre dont on analyse la morphologie foliaire dans laquelle on choisit par sélection hiérarchique dans une série juvénile, un pétiole, pour en extraire les protéines puis on sépare l'acide aminé cystéine dont on isole le carbone pour en caractériser l'isotope ^{14}C... Remarquons que cette démarche

constitue une cascade de choix... On n'a pas étudié les autres branches, ni les autres isotopes du carbone, ni les autres éléments, ni les autres acides aminés... Il y a à la fois une hiérarchie analytique et une sélection entre caractéristiques étudiées ou non étudiées sur la composition d'un objet d'étude.

On appellera référendaire écologique chacune des trois composantes majeures du champ écologique : l'espace, le temps, la composition [BOUCHé 1990].

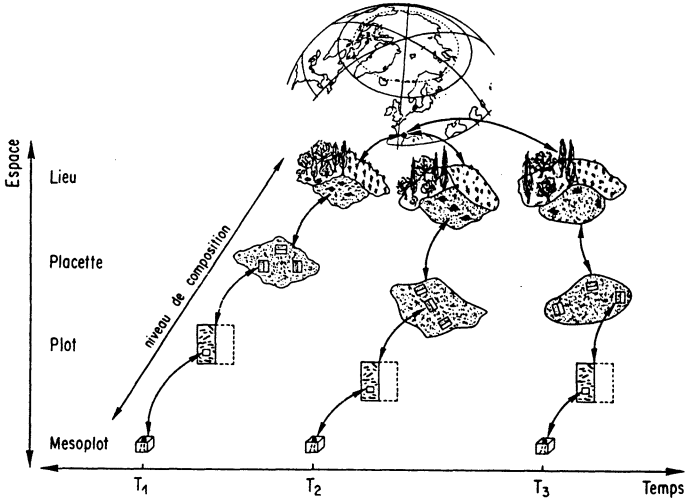

Figure 2 : *Le champ écologique et ses trois référendaires : l'espace, le temps et la composition.*

Le référendaire étant ici pris au double sens de portion du champ écologique et de nécessaire référence. Ces trois référendaires imposent leur maî-

trise dans l'organisation de l'écologie opérationnelle ; leur distinction claire s'impose principalement dans le référentiel des données, c'est-à-dire dans le repère spatio-temporel-compositionnel de chaque donnée acquise dans l'écosphère et ses liens aux données ayant la même position dans l'espace-temps écologique.

Repérer une information écologique est essentiel pour l'interprétation. Celle-ci se fera toujours en cherchant à acquérir, ordonner ou regrouper des données par rapport au champ écologique, c'est-à-dire en suivant les ordres d'analyse très divers de la composition d'un objet repéré par les positions spatiales (3 axes euclidiens) et le repère temporel.

Toute information n'est réciproquement valide que si elle est clairement située dans le champ écologique par la référence explicite ou implicite à ses trois référendaires. Le niveau de perception n'étant qu'une façon qualitative de désigner la portion du champ écologique que l'on considère en particulier pour une analyse plus détaillée.

On peut donc considérer depuis le champ écologique le plus général défini simultanément par ses référendaires euclidiens, temporels et de composition, des niveaux d'observation dans un ensemble allant du plus global au plus analytique (par réduction euclidienne ou/et temporelle ou/et compositionnelle) ; il n'y a scientifiquement pas de limites inférieure ou supérieure à ces études : il y a toute-

fois limite du domaine écologique, du champ écologique supérieur et inférieur. L'art de l'écologie n'est ni dans l'étude de l'infiniment petit, ni dans celle de l'infiniment grand, mais bien au contraire dans l'approfondissement des moyens d'analyse-synthèse et dans la confrontation des résultats au global, la synthèse étant différente de la globalité.

Les observations concrètement effectuées (= données acquises) résultent d'options sélectives. L'écologue limite ses études à certaines parties du champ écologique ; réciproquement, l'information acquise ne porte que sur des fractions du champ écologique se situant entre le "plus" global et les diverses focalisations analytiques possibles (dans l'espace, dans le temps et en ce qui concerne la composition).

Cette fraction perçue, connue, du champ écologique est sa globalyse c'est-à-dire la somme de données objectives disponibles sur un système. La globalyse joue un rôle essentiel dans toutes les approches concrètes de l'écologue, dans toute l'écologie opérationnelle, puisqu'elle représente la (seule) partie effectivement perçue et observée du champ écologique : elle en est l'information objective disponible [BOUCHé 1990].

Le système écologique est l'objet, la globalyse sa partie objectivement perçue, le modèle sa représentation transposée.

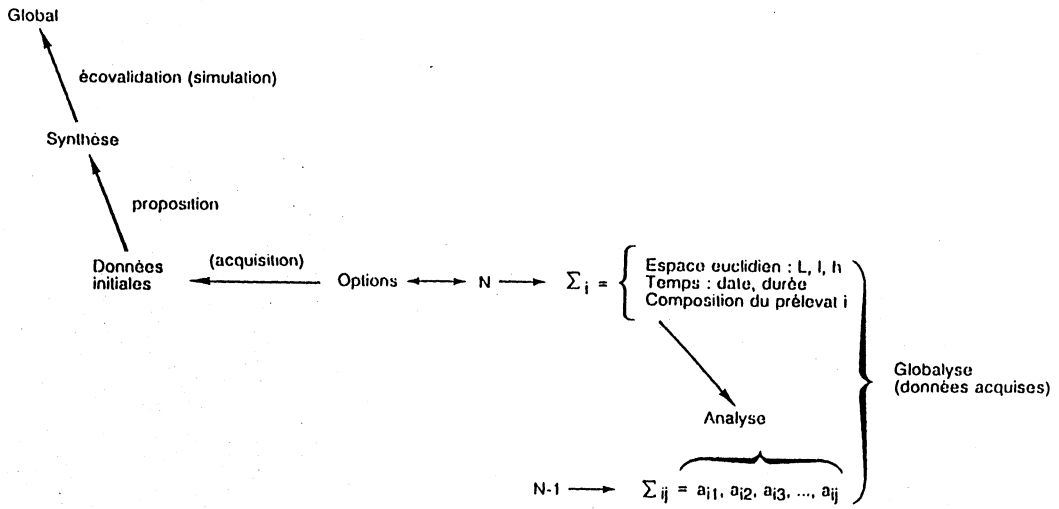

Tableau 1-2 : *Le champ écologique et sa globalyse : A l'intérieur d'un niveau de perception (station, secteur, région), repéré par de coordonnées géographiques (latitude, longitude, altitude), il faut opérationnellement choisir un niveau d'observation N (composition) contenant un nombre i de caractéristiques observables dans l'espace (L=longueur, l=largeur, h=hauteur) et dans le temps (Date, durée). Ce niveau étant susceptible de descriptions plus fines au niveau d'observation N-1 par analyse. Les choix effectués lors de l'acquisition résultent d'hypothèses dénommées options, ces options portent sur la pertinence des caractéristiques retenues pour représenter au mieux la portion du champ écologique sélectionnée dans la globalyse. L'accumulation des données permet d'interpréter synthétiquement la globalyse puis confronter cette synthèse aux données globales que nous avons du champ écologique.*

2.4. Le temps

Tout objet d'étude écologique est issu du passé. A un instant (pris au sens instantané) les données observables (comparables à une image photographique) résultent de phénomènes ayant un passé plus ou moins lointain. L'algue qui pousse sur le sol de la prairie s'est développée depuis sa spore il y a quelques heures, tandis que le puceron sur la plante a quelques dizaines de jours, la vache quelques années, le chêne du bouquet d'arbres quelques dizaines d'années et la pierre sur le sol s'est modifiée en des dizaines de milliers voire de millions d'années quoiqu'elle participe avec les sables et les argiles à un ensemble-sol en perpétuel remaniement. Chaque organisme est lui-même un individu particulier issu de recombinaisons parentales sur des millions d'années.

Toute interprétation écologique se place dans l'espace-temps, toute interprétation fait intervenir le temps, l'évolution des faits, des choses et des êtres vivants, des informations, des réalisations au cours du temps : l'enregistrement du temps est un lien obligatoire, un référendaire de toute donnée écologiquement référée. Il faut distinguer la date comme "instantanée" dans l'échelle du temps (même si cette date n'est pas calendaire, mais exprimée en secondes par exemple) et la durée comme étant le temps entre deux dates.

Du point de vue du fonctionnement des systèmes écologiques, le temps peut ne pas être perçu comme homogène au sens de l'écoulement de celui-ci dans une montre. Les choix de dates ou/et durées peuvent être arrêtés par rapport à des critères phénoménologiques, tels les stades phénologiques d'un arbre fruitier. Toutefois ceux-ci sont toujours en outre repérables dans le temps universel.

2.5. L'espace : hétérogénéité et continuum

D'une façon générale le champ écologique, qu'il soit vu globalement (l'écosphère) ou sur l'un de ses détails, est en perpétuelle transformation (changement de formes des états) sous l'effet des cinèses (flux, débits) qui échangent matière et énergie. D'une façon générale tout ensemble peut être analysé pour décrire sa diversité morphologique et fonctionnelle. Deux ensembles distincts dans l'espace, qui peuvent paraître semblables à certains égards, vont apparaître différents si on les analyse différemment soit plus en détail, soit plus globalement, soit avec d'autres analyses, soit à d'autres moments. Dans l'absolu, seule l'hétérogénéité existe, à tous les niveaux d'observation.

Les trois référendaires du champ écologique sont en pratique hétérogènes. Toute portion d'espace comporte une hétérogénéité interne, tout niveau de composition peut être décomposé en éléments plus

"fins" et plus précis. Quant au temps, s'il semble s'écouler de façon continue, régulier du point de vue chronologique, du point de vue de l'ensemble des systèmes biophysico-chimiques il est en fait profondément hétérogène. Sa signification est notamment totalement différente en fonction des rythmes "jour-nuit" (nycthéméraux), saisonniers (annuels) et pluriannuels (cycle de 11 ans, etc.), ces cycles étant dus notamment à la relation complexe de notre planète avec sa principale source énergétique (le soleil), animatrice essentielle des systèmes écologiques.

On devra toujours acquérir des données, puis organiser et interpréter celles-ci pour en étudier l'hétérogénéité.

Certains ensembles de données, par rapport à d'autres, sont moins hétérogènes. Cette identité relative très localisée dans la globalyse du champ écologique (c'est-à-dire somme des données analytiques acquises dans le champ écologique) permet alors de parler d'ensembles homogènes. L'homogénéité est un cas particulier de l'hétérogénéité et n'est usuellement qu'une hypothèse commode en vue d'une approche synthétique. En toute rigueur, on ne fait qu'étudier et comparer des hétérogénéités plus ou moins grandes, l'homogénéité n'étant qu'un cas limite de celles-ci.

Dans la pratique de l'élaboration écologique toutefois, il est fréquent d'opposer plusieurs ensembles dont on souhaite que chacun d'entre eux

soit (le moins hétérogène) le plus homogène possible. On parle alors par simplification, et sur la foi d'une supposition empirique, d'ensembles homogènes (champs cultivés homogènes, prise de sol homogène, paysage homogène), voire pour certains travaux, on homogénéisera (par exemple, par brassage de sol, en ne semant qu'une variété de blé, en éclaircissant une forêt, etc.). L'homogénéité est donc avant tout un concept portant sur des suppositions, pratiquement commodes, pour exprimer une opinion générale abstraite. Inversement l'hétérogénéité, plus ou moins grande, est mesurable dans les ensembles (considérés initialement, ou non, comme homogènes) par des expressions statistiques.

Il n'est pas rare que l'étude de l'hétérogénéité à l'intérieur d'un ensemble (par la comparaison de sous-ensembles) permette d'observer un changement graduel. Par exemple, la flore d'un territoire finit par changer totalement sur un autre mais entre les territoires il y a graduellement disparition des espèces du premier et apparition d'espèces du second. Il y a au niveau de perception choisi et pour le type d'analyse impossibilité de situer dans le champ écologique un changement brutal : il y a continuum [GODRON 1984]. Discontinuité et continuum constituent un autre doublet conceptuel à la base de multiples "difficultés" d'interprétation. Pour reconnaître, classer, l'information écologique, les écologues sont conduits en effet à définir des classes dont souvent (mais pas toujours) les limites

sont arbitraires ou dépendent d'un niveau de perception dans le champ écologique si mal défini que les controverses, souvent par défaut d'information, peuvent exister.

2.6. Champ écologique et choix des données : analyse, synthèse et globalité

La démarche analytique (analyse) est assez généralisée pour ne pas poser de problèmes ici (si ce n'est celui du choix du niveau des observations retenues pour arrêter l'analyse). Tout dépend des objectifs et moyens disponibles ; une analyse plus détaillée entraînera toujours pour corollaire un accroissement des données, des coûts d'acquisition et parfois des difficultés de vraie synthèse. On peut donc choisir, selon les moyens disponibles, soit de concentrer l'effort pour analyser à un niveau d'observation détaillé sur un nombre de points d'étude restreint, soit accroître le nombre de points d'étude pour une acquisition de données plus globales.

La synthèse offre par contre plus de difficultés car elle est souvent confondue avec globalité et avec généralisation. La synthèse est la reconstruction à partir des éléments analysés d'un ensemble plus complexe ; c'est une recomposition d'un ensemble préalablement décomposé. Pour que cette recomposition aboutisse à la composition initiale, il faut et il suffit que l'on possède toute l'information

sur le contenu des sous-ensembles de l'ensemble décomposé et sur l'organisation de ces sous-ensembles.

La globalité est une perception qui d'emblée reste à un niveau d'observation sans décomposition et recomposition. Comparer les résultats d'une étude globale (pour un niveau d'observation) avec les résultats obtenus après analyse puis synthèse (décomposition et recomposition) jusqu'à ce même niveau est un test de la qualité de ces analyses et synthèses.

La généralisation est une démarche purement subjective d'extrapolation de données éparses à des ensembles plus vastes. La généralisation n'est pas en soi fausse... mais n'est souvent pas réfutable directement à partir de ses éléments constitutifs.

Au plan technique, analyse, synthèse et globalité portent sur des données et sur leur organisation et sont réfutables tandis que la généralisation est une approximation subjective généralement non construite pour être testée.

2.7. Données objectives et hypothèses

En pratique, les connaissances écologiques sont fondées sur des données. Ces données ne représentent qu'une infime partie de l'information potentiellement présente dans le champ écologique. Cette

fraction résulte des hypothèses, nécessairement réductionnistes d'options. Ces options limitent le travail à une problématique (et non à d'autres qui sont écartées), puis à un objectif (et non à d'autres), puis... Cela réduit l'information acquise à partir d'options qui sous-entendent hypothétiquement que ces choix sont les moins mauvais possibles pour représenter le réel. Si ces options "réduisent" les données disponibles, elles n'en modifient pas la valeur intrinsèque, les données reflétant directement notre perception, même limitée, de l'objet d'étude (= données objectives).

Mais ces données initiales réduites et analytiques ne permettent pas isolément de conclusions générales de type synthétique. Pour les synthèses, une autre famille d'hypothèses les propositions tendent à transformer les Données Initiales Contrôlées (DICs) en Données Secondaire Elaborées (DSEs) qui en résument certaines propriétés tout en posant l'hypothèse que ces DICs sont suffisantes pour que les propriétés issues des DSEs soient celles du système réel. Les propositions sont une famille d'hypothèses (choix des données préalablement retenues pour constituer des ensembles, prédicats de fonctions mathématiques, suppositions, assemblages des éléments d'un modèle, extrapolations,...) dont dépend intrinsèquement la qualité des DSEs, mais nullement les DICs.

Les données initiales sont donc directement issues du champ écologique après un certain nombre d'hypothèses (options) réduisant considérablement

notre connaissance par rapport à l'ensemble des données qui décrivent totalement ce qui est étudié par l'écologue (= l'écosphère). Les propositions sont des hypothèses qui d'une certaine façon tendent à suppléer à la carence des données initiales par rapport à la réalité. Tout l'art des choix d'acquisition est de prendre des options aux faibles conséquences sur notre perception du réel et l'art des interprétations est de retenir des propositions qui permettent opérationnellement une connaissance que l'on peut confronter à la réalité de l'écosphère. La pertinence plus ou moins grande des options (choix réductionniste des données objectives) et des propositions (hypothèses généralisantes de synthèse) doit pouvoir être appréciée face au réel dans le cadre des interprétations (= processus de validation).

3. FORMES ET FONCTIONS

3.1. Notion de caractéristique

Une caractéristique est un trait qualificatif, quantitatif ou flou relatif à un organisme, à un système vivant simple ou complexe ou à son milieu. L'acidité du sol, le nombre d'animaux d'une espèce, le nombre d'espèces, la couleur de la feuille, le taux respiratoire sont des caractéristiques.

Le mot caractère, plus court, a été écarté en raison de son usage en informatique, une caractéristique étant décrite par plusieurs caractères (nécessitant chacun par exemple 8 bits).

Le mot descripteur est, par ailleurs, réservé aux opérations d'interprétations, un descripteur pouvant notamment être une combinaison quelconque de caractéristiques ou une classe des valeurs de l'une d'entre elles.

Descripteurs et caractéristiques sont des variables pouvant prendre plusieurs valeurs qualitatives, quantitatives ou floues. Les caractéristiques peuvent se rapporter à des états ou des cinèses.

3.2. Etats et cinèses

L'observation de caractéristiques peut conduire à deux types de données initiales très différentes :

1) des qualités et des quantités présentes à un instant t (nombre de pierres, couleur de la feuille,

poids du bétail, concentration en zinc d'un tronc d'arbre, etc.) ; il s'agit de caractéristiques liées à des formes ou structures, ou états. Nous les appellerons caractéristiques d'état. La durée est négligée : la caractéristique est alors instantanée et se rapporte à une date.

2) des débits et flux liés à l'une des caractéristiques, exprimées en fonction du temps dq/dt, par exemple nombre d'individus morts par seconde, quantité de CO_2 absorbée à l'heure. La donnée est liée à une durée (deux repères dans l'axe du temps). La valeur est fonction d'un temps. Nous appellerons cinèses les caractéristiques décrivant ces débits ou flux.

L'observation écologique porte sur des états ou/et des déplacements (mouvements) d'objets, c'est-à-dire leur cinèse. Ces deux types d'observations sont de nature différente. Elles peuvent éventuellement être simultanées, mais doivent être très fondamentalement et très clairement distinguées, les méthodes mises en oeuvre et la signification des observations faites pour une cinèse ou un état étant totalement différentes.

L'accumulation de données sur des états à l'instant t est de la morphologie. L'acquisition de données sur des cinèses pendant dt est de la cinétique écologique [BOUCHé 1990].

Le mot état est pris ici au sens strict "configuration des corps et des objets" mais aussi au sens plus large "toutes propriétés physiques de

ces configurations" prises instantanément (t = 0) par exemple : masse ou volume d'un objet. Il s'agit de la somme des diverses propriétés que l'on sait enregistrer d'un objet observé, dans la pratique, dans un temps suffisamment bref et adéquat pour que les propriétés observées ne soient pas altérées en fonction de la durée d'observation.

Par un changement d'échelle spatiale on peut observer les composants d'un objet et la façon dont ils sont organisés en structures plus ou moins complexes, ou répétitives selon des textures différentes.

On peut dénombrer le nombre de vaches d'un pré, mesurer la longueur d'une tige, peser la proportion de sable d'un sol, mesurer la distance entre deux noeuds sur la tige, ou entre deux particules de sable dans le sol... Il s'agit à chaque fois de quantifications de composants, et éventuellement, de description de leur organisation réciproque, ces composants étant des parties d'un ensemble plus vaste et étant éventuellement susceptibles d'être à leur tour analysés en composants plus fins. Ces observations se rapportent à des objets descriptibles qualitativement et quantitativement, voire de façon floue, à un moment donné. L'observation est considérée comme instantanée (ou sinon on adopte une autre échelle spatio-temporelle).

Toutes ces observations se rapportent à des formes d'individus, de sols, de sédiments, de dispositions spatiales des éléments. Si le "temps" est évoqué c'est en tant qu'élément descriptif par une

date à un instant : il n'y a pas de durée mais seulement situation temporelle.

La morphologie écologique s'appliquera donc à tout état portant sur un objet écologique observé instantanément (la modification de l'objet durant l'observation est négligée) à une date situant temporellement l'observation.

Les cinèses sont, à l'opposé des états, les observations sur les mouvements d'objets, quantité ou/et qualité changeant de situations spatio-temporelles. Ces phénomènes nécessitent des observations en fonction de la durée du temps et s'expriment en fonction de celle-ci dans l'espace. L'espace peut ne pas être traduit sous forme de coordonnées cartésiennes mais par référence à un objet (exemple : l'absorption d'oxygène par un individu vivant implique la mesure vers cet être vivant pendant un temps donné d'un mouvement gazeux). Il s'agit de mouvements exprimant une quantité en fonction du temps, c'est-à-dire un **débit**. L'une des propriétés de ce débit peut être une vitesse par unité de surface orientée perpendiculairement au vecteur vitesse (= un flux). Un **flux** ne porte pas sur des quantités mais sur des vitesses.

Ces cinèses jouent un rôle essentiel en écologie, qu'il s'agisse de mouvements d'éléments chimiques indispensables aux êtres vivants, des déplacements des êtres vivants et des diverses régulations chimiques ou biochimiques de ces cinèses. En fait, toute transformation fonction du temps (évolution)

des systèmes écologiques est nécessairement liée à des cinèses. Ici encore d'importants changements d'échelle dans l'espace et le temps existent.

3.3. Relations entre états et cinèses

Les cinèses, mouvements des objets, modifient les états (les formes). Les formes, ou structures, sont l'organisation spatiale des états. Les relations entre états et cinèses sont celles de systèmes. Par exemple : la texture sableuse (état ou forme) d'un sol permettra le débit des fluides (cinèse) et réciproquement l'intensité de l'anabolisme (cinèse) permettra l'élaboration d'une nouvelle tige (forme). Le dénombrement d'un troupeau dans un pré est modifié par l'arrivée ou le départ (cinèses) de quelques individus de ce troupeau dans le pré ; l'assimilation chlorophyllienne (CO_2 + H_2O) accroît la masse végétale ; le lessivage d'un sol modifie sa composition, sa texture et sa structure, ... Toutes ces modifications s'observent en deux temps t_1 et t_2 entre lesquels des cinèses (parfois contradictoires) se produisent.

4. ACQUISITION D'INFORMATION

4.1. L'élaboration des connaissances écologiques

L'élaboration est prise ici, vis-à-vis d'une science, au plein sens du terme : il s'agit d'élaborer les connaissances écologiques, c'est-à-dire d'en accroître l'étendue, d'en promouvoir la qualité et d'en assurer la disponibilité, notamment à des fins socio-économiques.

Il s'agit, au plan quantitatif, du travail nécessaire pour obtenir de nombreux résultats au coût minimal et, au plan qualitatif, d'améliorer en permanence notre compréhension de notre milieu.

Pour cela, il faut constamment développer ce qui est littéralement essentiel aux faits, en organisant faits et interprétations pour un progrès permanent vers des connaissances plus rigoureuses et efficaces. Cette continuité opérationnelle impliquant à tout instant un plein accès à l'état juste antérieur des connaissances et une critique réelle et objective des interprétations sur l'objet : c'est-à-dire tout ou partie de l'écosphère.

L'étendue des connaissances est avant tout un phénomène quantitatif : c'est accumuler les données écologiques vis-à-vis d'un milieu particulier, en fonction d'une action humaine, autour d'une espèce quelconque ou par rapport à un processus défini..., mais c'est aussi un problème d'organisation

des données pour les rendre accessibles et donc exclure leur perte pour la communauté humaine.

La qualité de l'écologie est évidemment dépendante du savoir acquis, donc de la quantité des données disponibles susceptibles d'interprétations scientifiques réitérées (aucune interprétation ne pouvant être considérée comme achevée), mais elle résulte aussi de la pertinence des interprétations qui en sont issues.

Cette pertinence est elle-même fonction à la fois de la qualité des données, de leur étendue (quantité) et de l'importance de l'analyse-synthèse pratiquée permettant une élimination systématique des interprétations spéculatives au profit de conclusions réfutables. C'est enfin permettre une utilisation rationnelle des connaissances par l'homme agissant dans l'écosphère.

Ces connaissances sont d'abord basées sur des faits constatés et enregistrés sous forme de données initiales ; celles-ci, après corrections (= les Données Initiales Contrôlées), sont la partie perçue des systèmes écologiques. C'est sur elles que s'appuient les interprétations. Les données initiales (après élimination d'erreurs et avant toute interprétation) constituent la partie intangible de la connaissance écologique.

Les données ainsi acquises se présentent comme une somme d'atomes factuels, une masse qui ne prend signification que par la constitution

d'ensembles de données interprétées, puis par mise à disposition de ces connaissances.

La grande diversité des faits observés et la carence des moyens de synthèse ont longtemps été si contraignantes que l'utilisation de ces connaissances s'est faite, et se fait encore largement, selon un mode archaïque conduisant à un gaspillage considérable des acquis et à une grande carence de réfutabilité scientifique effective.

L'acquisition des données objectives (sur l'objet d'étude écologique) permet de poursuivre un ou plusieurs objectifs finalisés. C'est la motivation des travaux de recherche car :

1) transcendant tous les objectifs, les acquisitions de données visent à nous apporter une connaissance sur l'écosphère, c'est-à-dire sur notre environnement,

2) chaque objectif particulier tend à répondre à une question (plus ou moins explicite) et le premier acte n'est pas nécessairement (ou plutôt ne devrait pas être) l'acquisition de données nouvelles mais d'abord l'utilisation des connaissances déjà acquises... ce qui implique une acquisition, une gestion, une exploitation logique et rigoureuse de données <u>obtenues antérieurement</u> pour d'autres finalités.

Les démarches d'acquisition, de gestion et d'interprétation des données procèdent mutuelle-

ment l'une de l'autre pour donner des réponses temporairement locales (limitées dans l'espace-temps) mais pouvant aussi s'intégrer dans notre connaissance globale de l'écosphère.

4.2. La donnée : l'élément d'information sur le champ écologique

L'approfondissement des connaissances implique de toute manière une accumulation de données relatives à l'objet d'étude de l'écologie : l'écosphère.

En pratique l'écologue, nécessairement spécialisé, exerce des choix en réduisant cet objectif global à ce qu'il peut effectivement appréhender. Il effectue d'emblée une série d'options réductionnistes ou simplificatrices avec l'espoir que leurs conséquences (= élimination des autres informations pouvant être acquises) auront des effets négatifs minimaux sur les interprétations qu'il désire.

Mais la donnée est rarement étudiée individuellement, elle l'est comme élément d'ensembles de données, aujourd'hui possibles à gérer par des Bases de Données Relationnelles permettant d'optimiser l'usage des liens écologiques. De sorte que l'acquisition de données se fait pour compléter ces ensembles ; les données peuvent alors être appréciées par rapport à ce qu'elles apportent à ces ensembles après avoir été saisies sur un support informatique.

En fait, ce jugement est relatif aux modalités d'interprétation lesquelles peuvent, pour une même donnée, varier considérablement en fonction de la constitution des ensembles de données et des objectifs poursuivis.

Les combinaisons de données peuvent être très diverses, une même donnée pouvant être réutilisée pour de nombreuses études de finalités écologiques différentes grâce à son référentiel la liant au champ écologique (par exemple une donnée relative à un animal observé pour un recensement quantitatif dans une forêt ... peut contribuer à la cartographie européenne de l'espèce observée).

Les liens naturels entre données écologiques permettent de constituer pour ces dernières un référentiel unique permettant d'explorer tous types de données objectivement écologiques.

En définitive, et au-delà des objectifs spécifiques qui ont leurs exigences immédiates, la donnée écologique contribuant directement à notre connaissance de notre propre milieu, peut être recombinée indéfiniment et de façon optimale, moyennant le respect de quelques principes élémentaires.

L'acquisition de données est la base de tout travail scientifique et de tout progrès technique. Ces données étant ensuite interprétées. L'interprétation des données conduit à des conclusions, des déci-

sions techniques ou de nouvelles connaissances et à de nouvelles hypothèses scientifiques. Cette interprétation exige enfin d'être refutée par un retour éventuel aux premières données ou/et par de nouvelles acquisitions de données.

L'acquisition d'une donnée est l'ensemble des opérations concrètes que l'on fait antérieurement et jusqu'à l'obtention d'une donnée initiale enregistrée correctement (y compris son contrôle). Cette définition porte sur le concret et exclut donc les démarches hypothétiques conduisant à cette acquisition d'informations.

4.3. Donnée et liens

Une donnée est un atome (au sens littéral : insécable) d'information écologique. Elle peut être qualitative : rouge, *Lumbricus terrestris*, France ; ou quantitative : 22 ; 684,5...; ou enfin floue : vieux, grand, lourd.

Isolément une donnée n'a aucun sens : "rouge", "g" ou 2,5 n'ont aucun sens alors que *Lumbricus terrestris* rouge commence à signifier quelque chose grâce au lien entre *Lumbricus terrestris* et rouge, et encore plus entre *Lumbricus terrestris* rouge (de) 2,5 g.

Une donnée pour être signifiante est donc reliée par des liens à d'autres données ; la description de

ces liens logiques constitue une propriété naturelle complémentaire aux données. Une donnée fait partie d'un ensemble : 2,5 g font partie de l'ensemble des nombres (2,5) et g des unités de mesures pondérales lui-même sous-ensemble des unités du Système Métrique International. Les données des ensembles peuvent en effet appartenir par leurs liens à plusieurs ensembles, et chaque ensemble être éventuellement subdivisé en sous-ensembles (jusqu'à la donnée) et être réciproquement lui-même un des sous-ensembles d'ensembles plus globaux. Les liens sont alors des propriétés d'ensembles de données.

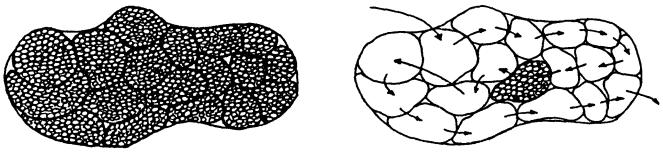

Figure 3 : *Représentation "ésotérique" d'un ensemble, sous-ensembles et liens entre les données.*

Une donnée "atome d'information" fait donc partie d'ensemble(s) où chaque donnée-atome est lié à d'autres données-atomes. Une certaine configuration "moléculaire" multidimensionnelle des liaisons de ces "atomes" en résulte. Exemple : *Lumbricus terrestris* - rouge - 2,5 g - pourra constituer une "molécule" (vue simple) qui peut devenir une "macromolécule" extrêmement complexe. Par exemple, *terrestris* est lié au genre *Lumbricus* (ensemble des espèces de ce genre), ...,

l'individu de 2,5 g en cause est lié à une portion d'espace liée à un dispositif expérimental, un type de sol, un climat, un dossier de recherche, ce dernier à un contrat, un chercheur responsable...

Une information peut porter sur un objet particulier, précis, par exemple : un individu de *Lumbricus castaneus* (Sav. 1826) pèse 360 mg. Ceci comporte une information objective, le poids de l'animal, mais la phrase décrit également un dénombrement(= 1), une espèce : *Lumbricus castaneus*, une relation générique (*castaneus* est dans le genre *Lumbricus*), le nom d'auteur abrégé (Savigny), l'indication que cet auteur n'a pas attribué cette espèce initialement dans le genre *Lumbricus* (la parenthèse) et l'année de première publication de la description par Savigny : 1826. Il s'agit d'autant de données qui peuvent être contrôlées et exploitées selon des logiques dépendantes ou indépendantes.

En pratique, on acquiert des données pour au moins un <u>objectif</u> de sorte que, par exemple, l'on étudiera la variation pondérale de l'individu décrit ci-dessus en fonction du temps. Toutes les informations autres restent constantes et l'on enregistre donc celles-ci une fois et une seule tandis que le poids et le temps, variables, seront enregistrés plusieurs fois. Ils sont liés à l'ensemble poids et liés à la série des dates.

On constate par cette description que deux concepts vont caractériser l'information écologique : les données sont enregistrées et elles sont organisées par des liens en ensembles. L'information a deux supports : les données et les liens (ou relations).

Ainsi dans notre exemple du *Lumbricus castaneus*, l'individu sera à chaque fois extrait de son milieu, nettoyé, porté sur une balance... et le poids ainsi que la date de collecte seront enregistrés en relation avec son identité. On contrôlera ensuite que la série de valeurs pondérales obtenue n'a pas de données aberrantes (= dans l'échelle des poids possibles pour le taxon : détection d'erreur d'enregistrement et éventuellement d'identification) et l'on enregistrera définitivement les données ainsi contrôlées comme "la meilleure perception objective".

L'acquisition d'une donnée peut faire appel à des techniques très simples (observation directe) ou très sophistiquées (analyses chimiques complexes pour séparer un constituant précis avant sa quantification par des systèmes automatiques d'étalonnage en fonction d'une concentration de référence). Dans ce deuxième cas, bien que l'objectif ne soit que d'acquérir une donnée, on enregistre en fait de très nombreuses "prédonnées" relatives à la techniques d'acquisition car chaque modalité technique modifie le résultat final, lequel n'apparaîtra qu'après un calcul sur d'autres

prédonnées préalablement enregistrées (à moins que le dispositif soit informatisé et effectue directement le calcul de la donnée recherchée). On conçoit dès lors que l'acquisition de données puisse faire appel à des techniques délicates et complexes.

Le mot **donnée** très général désigne donc un atome d'information décrivant pour partie un objet concret. Cette information a en quelque sorte deux raisons d'être :

1) elle est un acquis assuré initialement pour un objectif scientifique ou technique et de ce point de vue, elle est le résultat d'options ayant une motivation initiale précise ;

2) elle est par ailleurs une information en général et de ce point de vue, doit être gérée dans une Base de Données pour permettre de futures utilisations et un éventuel travail synthétique.

Ce dernier aspect est essentiel en écologie (science globale) où la synthèse à partir de données analytiques est fondamentale. Cela implique que la donnée enregistrée puisse être individuellement indépendante de l'objectif initial d'acquisition non dans son choix mais dans son référentiel, ce qui n'exclut pas une liaison explicite à cet objectif.

Il faut maintenant établir une distinction très nette entre la Donnée Initiale Contrôlée (DIC) issue du champ écologique et la Donnée Secondaire Elaborée (DSE) issue d'interprétations, même minimes. La première doit être le reflet le plus exact

et rigoureux possible de la portion du champ qu'elle est sensée représenter et être directement référée à celui-ci. La seconde résulte d'un choix interprétatif impliquant une proposition (par exemple : paramètre, total d'effectifs, moyenne,...).

Les DICs résultent d'options de sorte qu'un ensemble de DICs (par exemple, 3 valeurs de la biomasse végétale d'une prairie) peuvent être considérées selon des appréciations externes comme insuffisantes pour représenter un tout (une estimation de la biomasse de cette prairie). C'est l'ensemble qui est insuffisant, c'est la moyenne, une DSE calculée sur 3 DICs, qui est suspecte, mais chaque DIC prise isolément est une valeur représentant une biomasse d'un prélevat de ce champ et reste valable pour toute ré-interprétation différente (notamment dans ce cas par ajout de données pour établir une DSE "moyenne" plus fiable).

Les DICs sont les données objectives issues du champ écologique ; les DSEs sont des interprétations des DICs. L'une et l'autre donnent une perception de la réalité écologique. Les DICs dépendent seulement de l'acquisition, tandis que les DSEs dépendent aussi des hypothèses de l'interprétation (= propositions). On conservera donc les DICs comme informations fondamentales sur les systèmes.

A côté de ces études écologiques, le chercheur peut être conduit à simuler dans des dispositifs arti-

ficiels (que nous nommerons microcosmes) des modalités expérimentales reflétant les hypothèses qu'il porte sur certains mécanismes. Ces microcosmes fournissent des Données Expérimentales sur les Potentialités (DEPs) des processus proprement écologiques. Ces DEPs, acquises hors champ écologique, n'ont pas de référentiel avec celui-ci et ne dépendent que du dispositif artificiel choisi et des hypothèses de ce choix : DSEs et DEPs dépendent intrinsèquement de propositions et non les DICs.

Il existe aussi des prédonnées, n'ayant qu'une valeur transitoire au niveau des dispositifs techniques d'acquisition. Ces prédonnées (telle la tare d'un récipient) sont sans signification par rapport à l'objet d'étude (le prélevat) mais permettent d'intervenir dans le calcul d'une DIC ou DEP. DIC, DSE, DEP sont des abstractions, la DIC est directement concrétisable par son lien au réel, DSE et DEP sont réfutables.

4.4. Notion de prélevat

Le prélevat est un objet concret quelconque, donc une portion de l'espace-temps du champ écologique. Par relevé, prélèvement ou/et interception, on obtient directement, ou après analyse (au laboratoire), une ou plusieurs données caractérisant la composition de cet objet qui est vis-à-vis de cette(ces) caractéristique(s) insécable ; pour un même prélevat chaque donnée est de nature

(caractéristique) différente. Réciproquement, le prélevat est l'objet concret ayant fourni pour chaque caractéristique une DIC et une seule [BOUCHé 1990].

Le prélevat est défini d'abord par l'information écologique (la ou les DICs) qu'il fournit et est limité dans l'espace-temps par ses cotes (ses dimensions spatio-temporelles). C'est l'objet du champ écologique auquel la donnée est liée. Il est dans l'écosphère la limite spatio-temporelle inférieure de l'analyse vis-à-vis de l'espace-temps. C'est le "grain" le plus fin de l'information disponible de cette portion spatio-temporelle. Le choix des cotes est donc une option limitant les futures interprétations. Niveau composition, le prélevat peut fournir plusieurs données mais chacune appartenant à une caractéristique différente. Par exemple, une même prise de sol peut donner un pH, un dénombrement des acariens oribatides *Oppia minus*, un taux de carbone, une proportion de ^{15}N dans l'azote du prélevat, son propre volume, ...

Les données sont toujours liées à un prélevat ayant potentiellement des cotes spatio-temporelles. Dans l'absolu, la forme (espace) et les dimensions associées à cette forme font partie des caractéristiques (cotes spatiales) liés aux autres données du prélevat. Le temps de début de collecte et celui de fin permettent de situer temporellement le prélevat par la date (par exemple dans les jours du calendrier) et sa durée (par exemple de 6h 30 à 7h 10 =

40 mn). Le prélevat porte donc sur les trois référendaires du champ écologique : espace, temps et composition.

Le prélevat est l'objet concret sur lequel on effectue une acquisition d'informations. Il n'est pas nécessairement le prélèvement physique de l'objet concret (par exemple dans les relevés de la végétation, dans les mesures directes de cinèses d'un anémomètre, ...). C'est même parfois l'inverse: un apport dans le système écologique (par exemple la pluie ou encore l'acte correspondant au semis).

Le prélevat est donc liée à une acquisition d'informations traduites finalement sous forme de DICs. Ses caractéristiques spatio-temporelles, c'est-à-dire sa situation et ses cotes dans le champ écologique, le caractérise.

Le prélevat étant la portion d'espace-temps permettant d'obtenir une donnée d'une caractéristique, ou plusieurs données de caractéristiques à chaque fois différentes, a une importance littéralement essentielle puisqu'il est la source de DICs.

Derrière une apparente grande variété de "méthodes de prélèvement" il n'y a en fait qu'une opération : on acquiert l'information dans le champ écologique.

Pour comprendre la notion de prélevat, on pourrait imaginer la démarche suivante qui est l'inverse de la démarche expérimentale : On a une donnée,

liée à une caractéristique. D'où provient-elle ? Quel est son référentiel ? Conclusion : on a déterminé son prélevat.

Ce concept joue un rôle clé en écologie opérationnelle. La donnée d'une caractéristique sera ensuite liée aux autres propriétés de son prélevat. Une information (par exemple pH = 5,7) est indissociablement liée aux caractéristiques de son prélevat (pH de quoi ?). La donnée, atome d'information, n'a de sens que grâce aux liens permis par le prélevat.

Fondamentalement un prélevat a les caractéristiques spatio-temporelles d'une portion du champ écologique dans lequel il est délimité par ses cotes définissant son volume (par exemple : x, y, z) et sa durée (d) auxquelles on peut lier les éléments étudiés de sa composition (nature des données issues de ce prélevat). Dans la pratique, ces cotes ne sont pas toujours précisées car négligées par les options qui limiteront les possibilités d'interprétation.

Le prélevat peut être formé de sous-prélevats. Dans un certain nombre de cas, les observateurs prennent plusieurs sous-prélevats et les mélangent avant d'en exprimer les caractéristiques mêlées. C'est notamment le cas lorsque les moyens d'analyses font défaut et obligent à médiatiser le milieu pour réduire le caractère ponctuel d'une valeur. Ce choix, très peu souhaitable, est un compromis introduisant un flou important sur la signifi-

cation spatio-temporelle des données issues de tels prélevats. Présentement, la non-réflexion sur le prélevat, en tant que source de données, conduit très souvent à une perte d'information pure et simple.

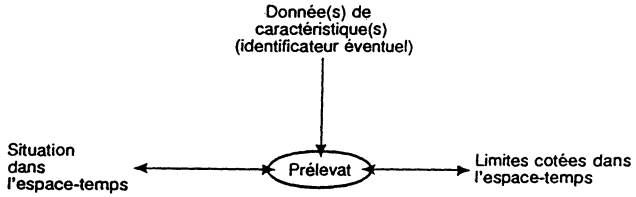

Figure 4 : *Caractéristiques, situation et limites d'un prélevat.*

La définition des caractéristiques du prélevat (= situation X, Y, Z, D et cotes x, y, z, d) est donc cruciale pour toute l'écologie car elle est une des limites essentielles à tout transfert, synthèse ou globalité de l'information.

4.5. Sélection des données et options

Les choix effectués lors de l'acquisition résultent d'hypothèses dénommées options. Ces options portent sur la pertinence des caractéristique retenues pour représenter au mieux la portion du champ écologique sélectionnée.

Si l'on considère le champ écologique total de l'écosphère, aucun écologue, aucune équipe de recherche ne peut le prendre en compte. Obligatoirement une problématique (de préférence explicite) conduira à sélectionner un domaine d'étude puis à focaliser sur certaines variables.

D'un point de vue plus opérationnel, on précisera même des objectifs de recherche et l'on constatera que l'on peut :

- déjà disposer des données,
- acquérir de nouvelles données nécessaires en tenant compte des moyens et techniques d'acquisition disponibles,
- ne pas disposer de données antérieures, ni acquérir de données nouvelles, car l'on manque de techniques adéquates et que ces techniques doivent préalablement être développées,
- manquer de moyens humains ou financiers (ou simplement manquer d'idée et/ou d'imagination).

Il y a donc successivement six "réductions" par :

1) option sur la problématique,
2) option sur l'objectif (concret),
3) option sur la localisation d'étude une portion d'espace-temps de l'écosphère,
4) option sur le prélevat : la modalité de sélection dans cet espace-temps global des portions d'espace-temps à laquelle chaque donnée est liée,

5) option sur la distribution spatio-temporelle des prélevats dans le site,
6) options analytiques : les techniques d'analyse chimique, physique ou biologique permettant de tirer de la composition globale des prélevats, les DICs de caractéristiques sélectionnées.

Enfin les modalités de saisie de données seront arrêtées ; celles-ci n'ont pas d'influence sur la qualité de la globalyse (fraction connue, observée du champ écologique) mais sur son volume (= efficacité d'acquisition).

Les 6 options doivent conduire à des données individuellement indépendantes des interprétations. Les options se font pour un objectif mais les DICs une fois acquises doivent être indépendantes intrinsèquement de cet objectif.

Il est en effet souvent très difficile de dissocier intellectuellement les interprétations des analyses car les recherches sont faites pour un objectif visant à une interprétation. Si cet objectif est légitime et doit être explicite, le mode d'acquisition une fois arrêté doit fournir des DICs (données analytiques) non pré-interprétées : si l'on y prend garde, c'est toujours le cas.

Avec les moyens modernes, les pré-interprétations doivent être éliminées très souvent. En écologie, avec l'informatique classique, les données ont

été après analyse, codées avec perte d'information . Par exemple les pH des sols sont enregistrés par lots de valeurs, regroupées en 1/2 unités pH, alors que la meilleure information est celle de la technique utilisée (par exemple celle du pH-mètre : 5,6 ; 5,7 ; 5,8...). La définition du lot résulte d'une pré-interprétation, d'un jugement de valeur, qui peut toujours être remis en cause. Les contraintes d'espace sur fichier justifiaient ces pré-interprétations ; elles ne doivent plus aujourd'hui être pratiquées qu'au niveau de chaque interprétation et en aucun cas lors de l'acquisition puis de la gestion des DICs.

Dans certains cas, cette pré-interprétation est liée à l'option analytique. Par exemple, avec l'usage d'un technique donnant une caractéristique que l'on considère comme représentative d'une autre.

Cette transposition interprétative devra être évitée au stade acquisition et il y a lieu de noter la DIC obtenue et non celle souhaitée. Ceci doit être respecté même si à l'interprétation on considère la différence entre DIC obtenue et donnée souhaitée comme "négligeable" ou si l'on pratique ultérieurement cette conversion. Cette opinion (= "négligeable") n'a de sens que dans le cadre d'une interprétation spécifique ; la même DIC dans un autre cas pourra être considérée avec sa vraie signification.

Indiquer par exemple que le semis d'une céréale a eu lieu 153 jours avant la récolte est une information qui ne peut être utilisée que pour une interprétation de croissance. Noter l'acte semis le 10/2/88 et l'acte récolte le 10/6/88 permet d'autres interprétations (par exemple sur les dates de semis pratiquées en moyenne dans une région). L'acte semis lui-même est en fait :

a) un apport biologique : Exemple maïs 80000/grain/ha,

b) un passage de tracteur-semoir dont on peut noter, selon divers objectifs, la pression moyenne/m^2 sur le sol ou/et la durée du travail ou/et la consommation/ha de fioul.

Il est fréquent que l'on ne dispose plus que de données pré-interprétées qui, faute d'un référentiel cohérent, sont inexploitables. Alors que le travail d'acquisition avait été fait, ces résultats initiaux utilisables à tous points de vue, sont perdus ; ce qui ne se serait pas produit si l'enregistrement des DICs avait été correctement conduit.

La pré-interprétation est une pratique très courante, qui doit être débusquée, car elle constitue, sans contrepartie, une perte archaïque de nombreuses informations.

4.6. Liens des données au champ écologique

Notons que la donnée ne vaut extrinsèquement que par ses liens. Ce sont eux qui permettront de l'associer dans des ensembles de données. En outre, en écologie la donnée devra obligatoirement être écologiquement référée sinon elle ne contribuera pas à une interprétation.

Certaines données usuelles peuvent ne pas être écologiques, telles un insecte de collection sans étiquette : il peut faire l'objet d'une étude zoologique (morphologie comparée) mais non écologique ; c'est encore le cas d'un dispositif expérimental arbitraire (microcosme sans référence démontrée au champ écologique "naturel", par exemple les expérimentations sous serre chauffée artificiellement).

Il ne s'agit pas uniquement d'accumuler des données analytiques mais de le faire pour permettre d'interpréter synthétiquement la globalyse (somme de données objectives) puis confronter cette synthèse aux données globales que nous avons du champ écologique. Une donnée doit donc être initialement reliée à d'autres données à la fois pour atteindre un objectif particulier et à la fois pour éviter sa perte dans un quelconque ensemble de données non reliables au champ écologique.

La donnée est d'abord repérée dans l'espace-temps par sa situation qui dans l'écosphère pourrait se résumer au niveau général par la longitude, la

latitude, l'altitude et la date ; en pratique des modalités précises et systématiquement méthodiques existent pour situer une donnée.

La donnée est concrètement issue d'un prélevat qui peut avoir fourni plusieurs données ; le prélevat est un lien entre les données décrivant ce prélevat.

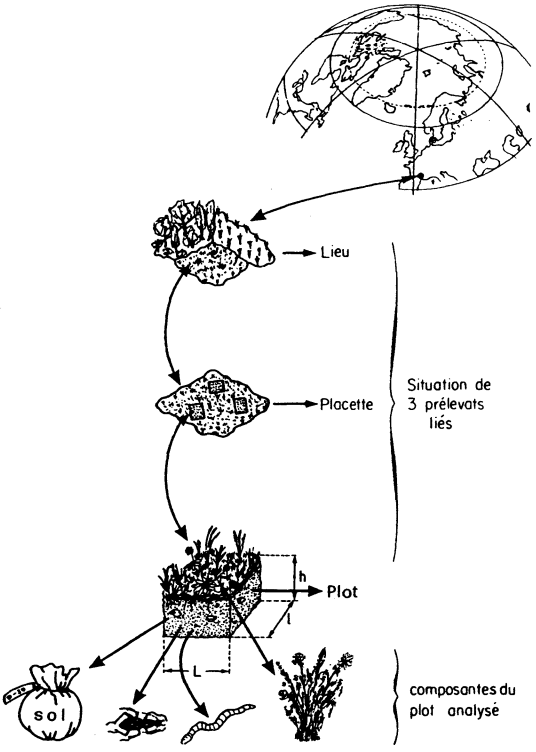

Figure 5 : *La situation spatiale des données : exemple de hiérarchie cumulée des éléments de la composition de chaque prélevat.*

Le prélevat peut être prélevé *in situ*, puis la prise analysée (cas de la collecte d'une prise de sol, d'eau, de bois, ...). Il peut être l'objet d'un relevé par analyse directe *in situ* ou transposition sur supports artificiels analysés ultérieurement (cas de la photo d'un groupe de canards en vol puis du dénombrement sur celle-ci ; cas d'un enregistrement multispectral par satellite artificiel). Dans tous les cas, le prélevat fournit une donnée d'une caractéristique ou des données sur chacune des caractéristiques différentes : il est l'origine de la donnée.

Les données issues d'un même prélevat sont spatio-temporellement liées : il s'agit d'un lien fondamental des données, extrêmement important pour l'étude future de l'information. Le même objet est ainsi analysé sous différents angles ; il est l'enchaînement cohérent d'analyses décomposant de façon de plus en plus fine l'objet (telle la séquence --> masse totale --> masse de matière organique totale --> masse de la fraction libre de cette matière organique --> masse de la portion de taille comprise entre 200 mm et 50 mm de la précédente) ; le prélevat permet des données complémentaires (tel le taux respiratoire global, masse de sable, de limon, d'argile, de racines, de lombriciens, de matière organique morte, ...) et une accumulation importante d'informations ayant trait à ce même prélevat.

Les diverses caractéristiques étudiées sont complémentaires vis-à-vis d'un même objet distingué. Elles sont choisies à la fois en fonction des objectifs de recherche, mais aussi en fonction de moyens tant matériels que conceptuels.

La donnée est également liée aux unités du prélevat. Parmi ces liens entre unités notons :

1) les données issues de prélevats euclidiens, celles qui se rapportent à une valeur soit exprimées directement : 25 mg Cd/kg, soit celles qui sont liées aux cotes d'un prélevat permettant le calcul d'un volume (Exemple : 10 individus de *Tipula paludosa* par galette de sol de 50 cm de diamètre prise à la surface d'un sol sur 5 cm). Ce sont des données "volumes-dépendantes" exprimées par unité volumique (parfois pondérales) ou par des cotes.

2) les données issues de prélevats cartésiens sont exprimées par rapport à la surface (Ex. 400 mg/ha de Benomyl) ou sont rapportées à un prélevat ayant les cotes horizontales (largeur, longueur ou diamètre) permettant d'exprimer par rapport à une surface ;

3) les DICs-cinèses sont des données durée-dépendantes soit par l'unité (25 cm^3/mn) soit par la connaissance de la durée du prélevat (35 mn/ha de travail). Les cinèses peuvent elles-mêmes être euclidiennes (débit de 25 g Cd/m^3/mn) ou cartésiennes (flux de 10 cd/m^2).

L'organisation d'une série de prélevats ponctuels, techniquement de nature différente, mais caractérisant un même point, accroît souvent considérablement la somme des données analytiques caractérisant ce point. Le lien spatio-temporel des prélevats joue un rôle essentiel. En écologie moderne, tant appliquée que fondamentale, cette propriété doit être impérativement conservée.

4.7. Collecte des données

On peut distinguer diverses modalités de collectes (= actions initiales d'acquisition de la donnée), c'est-à-dire les relevés, prélèvements et interceptions se rapportant à des prélevats.

1) Le relevé

Le relevé est une prise directe d'informations sans prélèvement concret d'objets dans le milieu. Ceci est particulièrement vrai pour tous les prélevats intransportables (relevé topographique des pentes, orientations, type géomorphologique, etc.) mais, d'une façon générale, pour toutes les informations acquises *in situ* (relevé climatologique, relevé de la végétation, etc.). Cette prise d'information peut :

a) être simultanée avec l'analyse définitive et porter directement sur des données initiales qui, après contrôle d'erreurs, seront des DICs ou

b) sur des analogiques (photographies, empreintes, enregistrements sur bandes de papier, ...)

qui seront ultérieurement analysées. Les analogiques sont des objets non écologiques reproduisant, par analogie, une information issue du champ écologique et non encore interprétée comme DICs.

Le terme enregistrement, plus générique, inclut par exemple ces analogiques et l'enregistrement des prédonnées, données, DICs.

2) Le prélèvement

Il s'agit d'un acte séparant 1 ou n prélevats de leur contexte écologique pour les étudier souvent en mettant en oeuvre des moyens analytiques inapplicables directement *in situ*, et supposant usuellement la destruction de la prise, résultant du prélèvement, pour isoler la donnée de la caractéristique recherchée. Le prélèvement prend des formes très variées en fonction du but recherché. Sans précision, il a trait à des descripteurs d'état. Le produit du prélèvement est une prise.

3) L'interception

C'est un mode d'obtention des DICs-cinèses. Une interception-relevé permet d'obtenir directement une donnée ou un analogique cinétique (cas de l'anémomètre, du rhéomètre, du comptage d'oiseaux passant un col, d'une lecture radar de passages de papillons, etc.). Il y a traduction de débit (= quantité *vs* temps, ex : nombre d'oiseaux/heure) parfois uniquement exprimé en tant que vitesse (de l'air, de l'eau) en considérant la section du passage comme "quelconque" : il s'agit alors de flux (= vitesse *vs* surface). L'interception-

prélèvement est l'interposition, dans une cinèse, d'un capteur accumulant l'élément étudié en le détournant de sa destinée "naturelle". Ceci prend les formes les plus diverses (filets de capture d'oiseaux, récepteurs de litière au cours de la chute de celle-ci depuis la frondaison vers le sol, piège-trappe d'animaux, prélèvement automatique d'aliquotes d'eau dans un réseau hydrique, pluviomètre, ...). L'interception-prélèvement permet ultérieurement des analyses poussées de la prise. Il ne se rapporte pas à un compartiment mais à une cinèse.

Si dans les interceptions-relevés, les données acquises sont souvent continues, les interceptions-prélèvements conduisent usuellement à des données discontinues dans le temps. Le choix de la durée du prélevat est important car il limitera la finesse de l'analyse temporelle.

4) La prise

C'est un objet concret qui n'est plus dans le champ écologique mais qui fournira, après analyse, des données sur ce champ. Ce sont, par exemple, les analogiques de relevé, telle une photo, les prises de prélèvements, tel un flacon d'eau contaminée, les analogiques d'interception-relevé, telle la bande d'un thermohygromètre et les produits de l'interception-prélèvement, tel le pot-piège. Avec les données non saisies, ils constituent (avant ou après analyses et saisies) des collections, c'est-à-dire des objets matériels issus de collectes et conservés pour de futures analyses.

5) Les actes (ou actions anthropiques)

Les actions anthropiques ou actes constituent les prélevats reliant les systèmes écologiques aux motivations socio-économiques qui ne relèvent pas que de la régulation spontanée de systèmes écologiques.

Le rôle des données qui en sont issues est essentiel car il permet, en respectant totalement le caractère scientifique et opérationnel de l'écologie d'articuler cette discipline aux préoccupations humaines.

Les actes ne diffèrent pas concrètement des modalités classiques de collecte de données : relevés, interception ou prélèvement, mais ils présentent intellectuellement des difficultés qui tiennent :

a) au fait que nous confondons la finalité de nos actions techniques avec l'acte agissant sur le système écologique considéré. Par exemple, on n'a pas "traité contre le parasite X" mais apporté *y* grammes/ha du pesticide *z*,

b) au fait que l'acte est souvent instantané et semble extérieur au système. Par exemple, dans le cas ci-dessus, c'est l'apport du pesticide *z* le jour *j* qui est l'acte... quels que soient les délais des réponses de cet acte dans le système écologique le recevant.

Les finalités apparaissent classiquement dans la terminologie et influent les choix analytiques en créant une confusion dans la globalyse (fraction connue, observée du champ écologique) ; on parle de semis alors qu'il s'agit d'un apport de graines lié à d'autres actes, mécaniques notamment (couteaux du semoir, charge des machines, etc.). L'acte technique doit être perçu par rapport au prélevat c'est-à-dire à la portion du champ écologique étudié. Très souvent en agriculture il s'agit de l'ensemble d'une placette choisie dans une parcelle cadastrale recevant un acte.

Il ne faut pas confondre l'acte et ses conséquences : l'apport de 400 g/ha de benomyl sur une céréale est quasi instantané, tandis que son action sur le système est étalé dans le temps (action fongique, en tant que fongicide, puis sur tout le système en tant que géodrilicide ayant des conséquences pendant des années).

Du point de vue de l'acquisition de données objectives, on notera simplement la nature de l'acte (= composition, par exemple benomyl), sa situation spatio-temporelle (date, durée, situation, par exemple : 22/06/84, 0 = instantané, placette B du lieu 1200) et sa quantification (par exemple : 400 g/ha). Il est à noter que l'acte peut avoir une durée contribuant à mesurer son intensité, par exemple : vache allaitante, 2/04/85 - 18/04/85 (ou 16 jours), parcelle Z, 0,6 vache/ha, ou par exemple : trac-

teur-semoir, 18/04/85, 25 mn/ha, parcelle K, 65 CV (= 47,7 kW).

Du point de vue de la globalyse, des distinguos existent également. On peut considérer l'usage d'une parcelle globalement (culture de maïs, année 1985 ou prairie permanente pâturée, année 1982) ; c'est particulièrement le cas dans l'étude des "précédents culturaux" qui peuvent être plus précisément décrits en terme de rotation culturale (succession des cultures sur un terrain donné).

L'étude des actes proprement dits, c'est-à-dire des actions se succédant au cours d'une culture, nécessite une analyse toute différente qui n'est pas toujours explicite, et souvent, implique des actes conjoints sous-entendus par le praticien, mais qui, n'étant pas explicites, ne sont pas saisis dans les données (agro-)écologiques.

L'acte benomyl, 22/06/84, instantané, placette B, lieu 1200, pris en exemple ci-dessus est nécessairement accompagné du mode d'épandage qui est une information importante pour certaines études. On pourra, si on s'intéresse à la physique du sol (compactage par roue des machines) ou encore aux bilans énergétiques des techniques agraires, noter conjointement : tracteur pulvérisateur, 22/06/84, 15 mn/ha, placette B, lieu 1200, 65 CV, 2 l fioul/h.

Autre exemple, le fauchage peut être considéré pour son "effet biologique de coupe", tracteur-

faux, 28/06/85, instantané, coupe à 5 cm, ou/et pour la sortie du système (= récolte) traduite par une quantité de poids sec de foin par hectare.

Remarquons ici que tout à fait normalement plus l'analyse est précise (dé-composition de l'acte), plus le nombre de caractéristiques qui l'on peut étudier croît et plus il est nécessaire d'exercer des options d'acquisition pertinentes. Ceci n'exclut pas la cohérence d'acquisition vis-à-vis des objectifs d'étude et d'une gestion efficace des connaissances.

Dernier point, les actes ne sont pas que des "entrées dans le système", mais également des sorties, telle la récolte de foin déjà illustrée ou la sortie d'un troupeau d'une parcelle. Les actes peuvent être regardés comme les actions élémentaires d'un itinéraire technique perçu sans connotation socio-économique et de façon généralisée (séquences d'actes des travaux publics, des pasteurs, des forestiers, ...).

6) Les marquages

Les marquages reviennent à marquer un compartiment à un instant par un moyen quelconque afin de suivre, en fonction de l'espace-temps, le devenir des composants marqués issus de ce compartiment.

Cette transformation en fonction de l'espace-temps implique des cinèses. Il s'agit donc d'un moyen essentiel de l'écologie cinétique car il per-

met ensuite par des prises ou relevés à partir des variations des états marqués/non marqués de connaître le devenir de la composante marquée.

Ces marquages peuvent porter sur tout niveau de la composition du plus "fin", celui des éléments chimiques pour lesquels on utilisera les différences de concentrations isotopiques, ou encore, du fait de l'instabilité de certains isotopes, en enregistrant la radioactivité issue de ces isotopes aux compartiments les plus grossiers (étiquetages, coloration, baguage, marquage du bétail, etc.).

Dans la pratique, on peut distinguer des marquages spontanés ; ceux qui, sans intention explicite de la part du chercheur, permettent de suivre un compartiment marqué et les marquages intentionnels ou expérimentaux où le chercheur est techniquement à l'origine du marquage. Dans le premier cas, l'écologue en observateur, saisit une opportunité, dans l'autre, en expérimentateur, il la crée.

Les marquages non intentionnels sont notamment ceux qui sont liés aux objets datables par rapport à une séquence "chronologiquement ordonnée" : stades successifs de développement d'un insecte ou perte graduelle de radioactivité naturelle ^{14}C par exemple.

Les marquages sont aussi expérimentaux ; ils peuvent porter sur des portions d'écosystèmes, telle des différentes strates de litière produite chaque année par leur séparation par des filets. Il a trait à des

organismes repérés par divers moyens (coloration, amputation, étiquetage, baguage, ...) permettant théoriquement de suivre à la fois les migrations et la démographie.

4.8. Options chronologiques sur les prélevats

Parmi les données d'un prélevat, celle de la cote durée (début, fin), permet un repérage pour les calculs de cinèse. Dans la pratique, cette cote n'est pas nécessairement mesurée. C'est le cas des variables d'état des compartiments dont on considère que la modification temporelle au cours de la durée de collecte est négligeable : nous ne souhaitons connaître que l'état à "l'instant" de collecte. Exemples :

1) le taux de sable d'un sol ne se modifie pas au cours du prélèvement et de l'analyse d'une terre ;
2) une photographie permet un dénombrement "instantané" des canards et des foulques sur un étang en Camargue ; etc. ;
3) constater qu'une parcelle est occupée par une prairie n'entraîne pas une modification au cours du constat.

En fait, cette option négligeant la durée est très fréquente dans les collectes sur les variables d'état : la durée du prélevat est usuellement négligeable par rapport à la modification des états pris en compte durant cette durée, et les données issues d'un prélé-

vat sont alors considérées comme instantanées. Inversement, les données d'interception sont le résultats de phénomènes dépendant de la durée (d) : ici la connaissance des caractéristiques début-fin est essentielle. En conclusion toute donnée est associée à une date (D) (variables d'état et cinèse) et en outre toute cinèse est fonction de la durée (d) ; en revanche, beaucoup d'états sont seulement considérés à l'instant où l'état est constaté.

La date est la situation temporelle du prélevat et la durée, négligée ou non, sa cote temporelle.

4.9. Options spatiales : prélevats euclidiens, cartésiens, informes et ponctuels

Les caractéristiques spatiales des prélevats sont associées à toutes données écologiques.

Les prélevats euclidiens sont usuellement cotés en volumes cubiques, parallélipipédiques, cylindriques,.... Ils permettent au moment des interprétations , des inférences (interpolations et extrapolations) à un espace euclidien de dimensions supérieures au prélevat (par exemple, on interpole les dosages effectués sur 100 prélevats, mesurant chacun 1 litre, au volume total d'un étang). Ils sont un élément des relevés destinés à échantillonner, par exemple, une parcelle ou une région.

Très souvent la cote "hauteur" des prélevats, c'est-à-dire la composante verticale du champ écologique, est négligée car celle-ci est implicite. Les données sont alors exprimées en unité/surface (exemple : production de blé : 0,7 t/ha ; nombre d'animaux : 300 individus/m^2). Cette pratique est largement justifiée en raison du caractère essentiellement superficiel de l'écosphère dont la dimension verticale est souvent négligeable par rapport à sa surface. De tels prélevats dont les données sont liées exclusivement à des cotes durée et horizontales sont des prélevats cartésiens.

Dans certains cas, les prélevats sont linéaires : l'information n'est plus acquise que vis-à-vis d'un transect (séries d'observations contiguës), les deux autres dimensions euclidiennes étant négligées (par exemple hauteur d'un arbre, pente, longueur en radiotrigonométrie d'un déplacement animal pendant la durée d, etc.).

Les prélevats informes négligent tout à fait l'expression des cotes spatiales, ils sont notamment utilisés dans les études typologiques où la coexistence spatiale de caractéristiques différentes est seule prise en compte. Ils tolèrent parfois une imprécision importante ; par exemple, il est possible de connaître l'existence de certaines espèces, difficiles à localiser par nos propres moyens, en étudiant le régime alimentaire d'un prédateur facile à étudier avec des moyens spécifiques (cas d'oiseaux prédateurs sachant trouver certaines proies dans un

paysage où l'on ne peut pas nous-mêmes localiser ces proies). Un individu peut être également un prélevat lorsqu'il est source de DICs.

Les prélevats cotés ont, par définition, une forme spatio-temporelle, généralement simple (ligne, carré, rond), qui, une fois retenue dans un plan d'échantillonnage, ne varie souvent plus en raison du fait que la composition de la (des) caractéristique(s) observée(s) dans les prélevats n'est pas indépendante des cotes de ce prélevat et des pratiques techniques qui l'accompagnent.

A l'inverse, un prélevat ponctuel peut être informe, c'est-à-dire collecté sans forme fixée *a priori* dans les options d'échantillonnage. Il est alors possible de respecter les "formes" que la nature a donnée aux caractéristiques observées c'est-à-dire d'adapter le prélevat au terrain au cas par cas. Mais ce type de prélevat ne permet pas une extrapolation numérique dans l'espace-temps.

L'organisation d'une série de prélevats ponctuels techniquement de nature différente, mais caractérisant une même situation spatiale, accroît considérablement la somme des données analytiques caractérisant un point. Le lien spatio-temporel des prélevats joue un rôle essentiel et la situation doit être impérativement conservée.

On dénomme échantillon un ensemble de données susceptibles de représenter un tout. Le prélevats sont alors choisis en fonction d'un plan

d'échantillonnage visant à tirer de ceux-ci, par inférence des données, une description par DSEs d'un objet plus vaste (un tout) que les DICs elles-mêmes.

La signification (la qualité) de l'échantillon par rapport au tout que l'on cherche à connaître est une préoccupation ancienne traitée classiquement en terme de probabilité. Un ensemble de n données d'une caractéristique (= échantillon) issu d'un ensemble de n prélevats est jugé représentatif d'un tout par le calcul du gain d'information résultant de l'ajout de nouvelles données de la même caractéristique issue du même tout. Si l'on cherche une différence entre deux tout(s) (par exemple, dans les essais classiques témoin/traité) on teste les différences observées par rapport aux différences qui seraient dues à un pur hasard (aléatoire).

Les divers plans d'échantillonnage sont donc des compromis entre les probabilités d'imprécisions observées et les limites en moyens d'obtention de données. La gestion de l'information permet souvent, en fusionnant des ensembles de données au moment de l'interprétation, d'améliorer la qualité des ensembles de données (échantillons) pour certains objectifs de recherche.

4.10. Associations de prélevats (prélevats associés et l'associateur)

Dans la saisie de l'information certains objets (= portion quelconque réelle du champ écologique) sont étudiés de façon répétitive : ils fournissent donc une série de prélevats. Certaines caractéristiques relatives à ces objets sont toutefois invariantes et peuvent donc être décrites par un prélevat tandis que d'autres, variables dans l'espace-temps, sont décrites par une série de prélevats.

Le prélevat résumant les caractéristiques considérées comme invariantes est le prélevat associateur ; les prélevats résumant les caractéristiques variables sont dits prélevats associés.

Plusieurs séries différentes de prélevats associés peuvent porter sur un même associateur. La relation entre associateur et associé est assurée à l'aide d'un identificateur commun à l'associateur et aux divers associés. Afin d'éviter toute redondance hormis le lien à l'associateur seules les caractéristiques variables sont décrites ; elles forment entre elles des associations.

Ces associations sont de deux types :

1) L'association diachronique :

L'associateur est un prélevat décrivant un objet fixé spatialement et comporte les caractéristiques temporellement constantes. Les caractéristiques variant dans le temps, et observées à partir de ce

même objet, sont décrites par une ou plusieurs séries d'associés (= séries de prélevats associés). Par exemple un plot peut être initialement défini par sa situation X, Y, Z et être décrit par un prélevat indiquant en outre à la date D des caractéristiques considérées comme invariantes (taux d'argile du sol, pente, orientation, etc.) et l'identificateur. Ceci forme le prélevat associateur auquel des séries de prélevats associés peuvent être rapportées grâce à l'identificateur commun ; par exemple à une série de date D_1, D_2, ..., D_n, la phénologie de végétaux de ce plot, état sanitaire, leur hauteur, etc. Une autre série diachronique peut décrire sur le même plot aux dates D_a, D_b, ... D_n les insectes homoptères présents, etc.

2) L'association stéréochronique :

Dans ce cas l'objet est spatialement instable, tout déplacement demandant un temps, cette instabilité est spatio-temporelle.

L'associateur comme précédemment a pour rôle de conserver l'information intangible. Par exemple, pour un animal : espèce, race, données sur lignées parentales, sexe, etc., et l'identificateur. La série de prélevats associés portera notamment sur les situations successives (incluant les dates et situations géodésiques) et d'éventuelles observations liées. Par exemple : notations sur un animal suivi spatio-temporellement par radiogoniométrie, nombre d'individus d'un troupeau ; poids vifs successifs d'un oiseau bagué, etc.

En conclusion, placette, plot (méso-, micro-, pico-plots) et objets instables seront souvent les associateurs auxquels sont liés des séries de prélevats associés, diachroniques pour les premiers et stéréochroniques pour les objets instables.

L'organisation d'associations de prélevats à travers ses liens facilite la constitution d'ensembles de données.

5. LES ENSEMBLES DE DONNEES

5.1. Objectifs, ensembles et caractéristiques

L'acquisition de données initiales est une analyse de l'objet d'étude écologique (milieu d'une espèce, caractéristiques d'un individus, analyse spatiale, etc.). Le chercheur isole de l'écosphère des groupes d'informations d'une même "nature" (en fait, de données propres à une caractéristique) : valeurs de pH, étapes de la croissance d'une plante, présence d'une espèce, apports d'engrais, etc.

En écologie analytique, cette démarche s'arrête toujours à un niveau qui pourrait être subdivisé en éléments encore plus analytiques. Ainsi certaines études vont dénombrer les vers de terre, d'autres vont compter chaque espèce de vers de terre, d'autres vont enregistrer chaque stade (adultes, juvéniles, cocons, etc.) de chaque espèce de lombriciens, d'autres vont faire trois lots de poids pour chaque individus de chaque stade de chaque espèce de lombriciens, d'autres vont faire 5, 7... n lots, ou analyser la structure morphologique ou la composition chimique des individus, etc.

En pratique, les moyens disponibles et <u>les options sur objectifs</u>, dictent le niveau analytique dans la globalyse et en définitive on doit préciser la liste des caractéristiques observées, par exemple :

- température maximale journalière
- température minimale journalière
- pH du sol
- présence/absence de *Dactylis glomerata*
- masse de l'animal au garrot
- carbone total du sol
- azote total du sol
- vitesse du courant de l'eau
- orientation du vent...

En général, une caractéristique sera l'objet de plusieurs observations instantanées comparables dans l'espace (données synchroniques) ou/et dans le temps (données diachroniques), parfois un seul état considéré comme constant est enregistré (présence d'une espèce d'arbres comme caractère du milieu où se situe une étude plus détaillée) enfin souvent, et c'est normal, les données de composition sont stéréochroniques. Les caractéristiques donnent à chaque observation une donnée et ces données peuvent être organisées en ensembles de données. Ces ensembles entrent eux-mêmes dans des ensembles de niveau hiérarchique supérieur, etc.

Chaque donnée écologique doit être située par des liens à d'autres données elles-mêmes partie du champ écologique et résulte d'un choix d'acquisition dans ce champ : elle est partie de la globalyse (somme de données objectives disponibles) effectuée sur ce champ et est composante systémique de l'écosphère utilisable pour sa valeur

intrinsèque et pour la possibilité d'être incluse en ensembles plus vastes pour interprétation.

5.2. Options spatio-temporelles sur les ensembles

- Un ensemble est synchronique lorsque les données de celui-ci sont considérées comme ayant été prises simultanément (les différences de dates étant jugées négligeables) (ex : ensemble des profils de sol utilisés pour constituer une carte pédologique).

- Un ensemble est diachronique lorsque les données de celui-ci sont organisées pour refléter des différences chronologiques (ex : les variations horaires du dégagement de CO_2 d'un sol ; le nombre de pucerons/m^2 observé à chaque mois de l'année ; les quantités de précipitations exprimées en mm/jour pendant un mois, une saison, une année).

- Un ensemble est stéréochronique lorsque les données de celui-ci sont organisées pour tenir compte de la situation totale des données, à la fois dans l'espace et le temps, (exemple : étude d'une migration saisonnière).

5.3. Qualité des données et des ensembles : les erreurs

La donnée peut être de qualité très inégale par rapport à divers points de vue : elle a intrinsèquement une qualité qui peut être définie par rapport à trois critères : adéquation, précision et médiation. Elle peut extrinsèquement être appréciée par rapport à l'ensemble auquel elle appartient. Elle peut enfin être considérée dans les démarches d'interprétation.

1) Qualités intrinsèques des données

L'adéquation d'une donnée est la qualité de son lien effectif à la caractéristique d'attribution. Une donnée est adéquate lorsque sa mesure, son observation correspondent bien au(x) lien(s) que l'on entend en faire. Ex : la couleur d'une feuille de hêtre doit bien se rapporter à l'ensemble des couleurs, à feuille et à hêtre (et non par erreur à un poids, une branche et à un orme). Ex : l'incorporation du carbone dans un sol doit correspondre au carbone entrant dans le compartiment donné à l'instant dt, et non pas être le bilan positif de C entre t_1 et t_2 (car entre t_1 et t_2 il peut y avoir eu aussi "sortie"), etc. En d'autres termes, une donnée est inadéquate lorsqu'elle ne se rapporte pas à la caractéristique à laquelle on l'attribue.

La précision porte sur la classique "erreur de mesure" de physique, c'est-à-dire porte sur des données quantitatives (Ex. : 2,5 m + ou - 1 cm),

en raison de l'imprécision des moyens techniques de mesure, ou des données qualitatives (Ex : *Lumbricus rubellus* subsp ?) en raison de la carence des moyens d'analyse. La précision n'est pas toujours explicitement décrite mais implicitement relevée par exemple sur la dernière décimale choisie (Ex. : 2,53 cm implique une erreur < 1 cm) ou de l'expression qualitative (Ex. *Lumbricus rubellus* subsp ?). Elle peut être explicitement indiquée et liée à la donnée, notamment lorsque cette donnée est enregistrée de façon apparemment plus précise que la précision effective (Ex : la situation, latitude longitude, d'un lieu arbitrairement attribué au centre d'un village car on ne connaît que le nom de la commune).

La <u>médiation</u> : c'est le résultat de la lecture globale du prélevat permettant l'homogénéisation de l'hétérogénéité spatio-temporelle. La donnée obtenue correspond à une "moyenne" ; cette "moyenne" ou médiation spatio-temporelle de la caractéristique analysée conduise à une donnée sur celle-ci quelle que soit la complexité interne au prélevat qu'elle "homogénéise" par sa mesure globale. Ex : pH égal à 5,7 à moins 10 cm de profondeur pour un prélevat de $1m^2$; ou 28 ppm de Cd, dans un prélevat de 100 g de sol correspondant à la concentration dans un microsite d'un cristal pesant 25 mg... dans l'ensemble des 100 g de prélevat. Les cotes du prélevat associé à la donnée donnent l'ampleur de cette médiation qui "efface ces détails".

L'aberration enfin est une donnée proprement anormale, obtenue par un dérèglement évident dans l'acquisition (à commencer par un *lapsus*).

2) Qualités extrinsèques des données (dans leur ensemble)

La qualité des données peut encore être jugée d'après le résultat d'une interprétation, après constitution d'un ensemble de données. Une donnée est alors jugée comme cas particulier de cet ensemble. On considère alors sa position relative dans la dispersion des valeurs de l'ensemble (écart à la moyenne de l'ensemble), mesure de sa distance à la moyenne contribuant à la relative hétérogénéité de cet ensemble. Elle peut également être considérée en cas d'interpolations sous l'angle de sa portée, c'est-à-dire du volume spatio-temporel qui après analyse de l'ensemble lui est attribué par inférence.

Une donnée peut enfin ne pas avoir été acquise, mais être arbitrairement introduite dans la globalyse par supposition ce qui doit être toujours explicité par un indicateur complémentaire en raison du risque ainsi pris.

Si chaque donnée est partie d'ensembles et est d'une qualité appréciable, elle est nécessairement un atome d'information du champ écologique dans lequel elle doit être située pour devenir totalement explicite, ce qui est rarement fait sans confusion en raison du caractère à la fois hétérogène et en conti-

nuum de ce champ. Le lien aux trois référendaires sera donc une qualité essentielle.

6. LA SAISIE DES DONNEES INITIALES

6.1. La saisie

Comme nous l'avons vu, les prélevats sont susceptibles de fournir des données sur un très grand nombre de caractéristiques du champ écologique. Par nature ces caractéristiques sont repérables dans le champ écologique.

Nous avons vu également que ces données sont liées entre elles spatio-temporellement par le prélevat lui-même et que, parmi les caractéristiques d'un prélevat, les cotes temporelles et spatiales peuvent être essentielles.

Pour des raisons techniques, les données sont analysées jusqu'à un certain niveau qui peut être implicite c'est-à-dire qui est contenu dans une proposition sans être exprimé précisément (une espèce, une variété, une classe de granulométrie) ou explicite c'est-à-dire qui ne prête à aucune contestation (une longueur en décimètre).

La saisie des données devra toujours se faire selon la précision la plus fine acquise, même si l'objectif initial de la recherche ne le requiert pas. A partir du moment où un niveau précis de connaissances est atteint, il faut éviter de le perdre car les données n'ont pas une destinée unique en vue de l'interprétation. C'est après saisie et après

gestion des données que, si nécessaire, l'on écartera, sans élimination, l'information "inutilement" précise pour une interprétation spécifique.

En effet, les données ne sont pas uniquement utilisables dans le seul cadre initial ayant motivé leur acquisition. Leur gestion en Bases de Données et leur usage par Intelligence Artificielle en écologie peuvent requérir une précision imprévisible : les données sont multi-interprétatives.

La réciproque n'est pas vraie. S'imposer la contrainte d'une grande précision sans justification explicite serait une option maladroite freinant l'acquisition des données sans certitude de la moindre utilité. A l'inverse, l'adoption de codes restreignant l'information initialement acquise est aujourd'hui injustifiée et nuisible.

La règle est donc de bien associer la saisie de données au niveau d'analyse le plus précis, initialement justifié et rien de plus. Il faut conserver précieusement les DICs comme l'information la plus objective, ce qui est aujourd'hui économiquement et scientifiquement justifié, car jamais cette donnée ne se reproduira spatio-temporellement dans le système écologique qui "évolue" et se transforme.

Les données initiales doivent subir avant leur enregistrement définitif un ou plusieurs contrôles. Ceux-ci peuvent révéler des carences techniques et conceptuelles et doivent être inscrits "en routine"

avant l'enregistrement définitif de Données Initiales Contrôlées.

La saisie manuelle ou automatique des données dépend du contexte matériel et informatique réalisable au niveau de la collecte, dont l'analyse des prises. Les techniques à cet égard évoluent beaucoup et dépendent du contexte technique, fort différent par exemple allant de la télédétection où la saisie automatique des données est considérable et quasi simultanée aux relevés sur le terrain qui imposent un travail fastidieux de dépouillement de microarthropodes à partir d'une prise de sol.

6.2. Le cas des données continues

Les données analogiques (enregistrement en continu dans le temps ou l'espace, tel un enregistrement d'anémomètre, de débitmètre, de thermomètre, de contours sur photographie, ...) sont non compatibles avec la structure d'enregistrement actuelle de l'information en ordinateur et obligent à une perte d'information par lecture discontinue selon un pas arbitraire (en général choisi comme optimal ou suffisant vis-à-vis de l'objectif d'interprétation). Dans ce cas les DICs représentent une information appauvrie par rapport à l'information enregistrée. Celle-ci peut être conservée hors-saisie informatisée, en collection.

Notons que les développements des mémoires informatiques permettent à un coût perpétuellement décroissant des enregistrements "quasi analogiques" de données discontinues et leur transmission numérique en réseaux intégrés.

6.3. Collections et enregistrements (données non saisies)

Le processus d'acquisition de données peut conduire à conserver des objets matériels porteurs d'informations potentielles inexploitées... c'est-à-dire ceux dont on sait que l'on pourra ultérieurement extraire des données qui n'ont pas été initialement observées.

Il peut s'agir d'échantillons (plantes, animaux, ...) conservés dans un muséum et dont la sauvegarde permettra de revenir à leur étude pour de nouvelles acquisitions de données (telle la révision d'un type). Il peut s'agir d'enregistrements analogiques à une ou n dimensions (photographie, film, bande multicanal de télédétection , ...) dont on a dû, pour une première saisie, choisir des cotes de prélevats, telles la durée ou le pas de temps. Ces cotes peuvent ultérieurement ne pas s'avérer optimales.

Les prises analogiques brutes continues doivent être transformées en données numériques discontinues. Le prélevat n'est défini ici, quant à sa cote

durée, qu'après enregistrement avant la saisie informatique, et l'enregistrement initial peut être conservé pour une redéfinition de la durée du prélevat.

7. LES LIENS ENTRE DONNEES

7.1. L'organisation des données

L'écologie, par définition, aborde un nombre énorme de problèmes fondamentaux ou/et appliqués. Ses pratiques sont dispersées selon les trois référendaires écologiques :

- dans l'espace : les points d'application planétaire étant infiniment divers,

- dans la composition : le niveau d'analyse extrêmement variable condamnait à un défaut de rigueur ou d'explication s'il était "trop général" ou à une carence de généralisation s'il était "trop réduit". La quantité de données nécessaires augmente rapidement dans les synthèses complexes,

- dans le temps : allant de l'étude de l'évolution (des sédiments, des organismes, des écosystèmes) sur des millions d'années, à l'impact de l'industrialisation sur la gestion de l'espace rural (quelques décennies), à la croissance saisonnière d'un végétal ou aux échanges (instantanés) dans le système sol-racine.

Ainsi, la totalité de la connaissance scientifique écologique est descriptible et accessible.

Ceci a quatre conséquences immédiates :

- Les données et démarches, rendues accessibles permettent le contrôle, la vérification donc la scientificité des domaines concernés.
- L'extraordinaire perte d'informations, encore actuellement en cours, source de méconnaissances et d'incompréhension n'a plus aucune raison d'être.
- L'organisation des données constitue en soi une élaboration. Elle permet l'affranchissement du nucleus intellectuel initial d'acquisition, la ré-interprétation et la recombinaison *ad libitum* des connaissances initiales (DICs) ou élaborées (DSEs)
- Les bornes des spécialités devraient concrètement sauter. On passe d'une "écologie" à sommation multidisciplinaire à une véritable écologie globale "monodisciplinaire" des systèmes complexes favorisant les interactions entre approches holistique et réductionniste.

7.2. Situations des prélevats dans le champ écologique

Comme nous l'avons dit, toute donnée provient d'un prélevat. Pour la globalyse (information objective disponible) tout prélevat est limité par ses cotes (x, y, z, d) et sa composition. Réciproquement, toute donnée issue du prélevat se rapporte à la portion spatio-temporelle x, y, z, d dont elle est par définition l'analyse spatio-temporelle la plus fine.

Cette portion s'inscrit dans le champ écologique par sa situation (X, Y, Z, D). Pour cela, il suffirait logiquement de quatre repères géodésiques permettant de situer ce prélevat (et les données issues du prélevat) dans l'écosphère. Ce pourrait être longitude, latitude, altitude et "date" (L, l, A, D) où la date n'est pas prise qu'au sens calendaire, mais peut être précisée avec d'autres unités de temps même plus précises (année, quantième, heure, minutes, secondes). Le niveau de composition étant indiqué par la nature de la donnée (= caractéristique).

En pratique, malheureusement, la situation du prélevat dans le champ écologique est tout à fait imprécise. Les moyens de situer avec précision un prélevat sont généralement inutilement lourds. Il est préférable de situer, avec la plus grande précision possible les prélevats par leurs coordonnées géodésiques, et lorsque celles-ci sont quasi identiques de repérer ces prélevats entre eux par des coordonnées locales ou repères (X, Y, Z, D).

Pour le système de repérage généralisé, adopté dans la Base de Données Relationnelle ECORDRE, les placettes (surfaces ayant en commun des données), par exemple un mode de gestion (une sapinière, ou un itinéraire technique agricole, ou un traitement d'engrais dans une expérimentation au terrain) sont rattachés à des lieux repérés par les coordonnées géographiques (longitude et latitude). Elles comportent l'altitude et la date (normalement

année et quantième de l'année) et les repères (X_1, Y_1, Z_1, D_1) situant les plots dans ces placettes, où sont effectués des relevés (prises). Si nécessaire, par exemple en micromorphologie spatiale un système de pointage X_2, Y_2, Z_2, permet de repérer chaque donnée d'un mésoplot, voire d'un microplot, dans le plot.

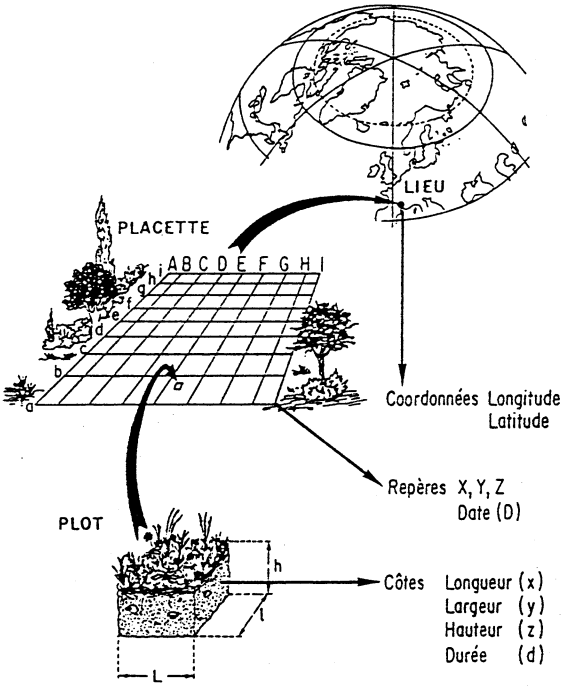

Figure 6 : *Intégration et repères spatio-temporels des données agro-écologiques dans l'écosphère.*

Si le lieu est la localisation géodésique et la placette la portion d'espace où l'on collecte des données à partir de plots, il arrive que l'on soit conduit à subdiviser l'espace de la placette après la définition des plots. Ces unités spatiales peuvent en partant du plot être décrites vers des unités plus englobantes en termes de macroplot, mégaplot, ... ou, en partant de la placette, en mésoplacette, ...

Ainsi, toute donnée de composition quelconque, peut être décrite en fonction de sa situation, de sa médiation spatiale (cote du prélevat), de sa modalité potentielle d'extrapolation (cartésienne ou typologique) et d'intrapolation ponctuelle mais également elle peut être repérée dans l'écosphère ou tout sous-système spatio-temporel de celle-ci.

7.3. Champ écologique et informations

Comme nous venons de le voir toute donnée est située *ipso facto* dans le champ écologique et est définie par sa composition et ses coordonnées spatio-temporelles.

Retenons simplement qu'une donnée acquise, quelle que soit la finalité initiale pour laquelle le travail d'acquisition a été effectué, doit circuler et être ré-interprétable en fonction d'autres données situées dans le champ écologique, voire du domaine socio-économique. En aucun cas, la DIC (obtenue directement du champ écologique concret) ne doit être perdue car elle est notre perception objective

depuis notre environnement immédiat jusqu'à l'écosphère.

Cette remarque n'exclut nullement l'énoncé de la motivation pour justifier et organiser l'acquisition initiale. Si toute donnée doit être ré-interprétable, elle doit d'abord être interprétée en fonction de l'objectif explicité par la motivation de la recherche qui en a assuré l'acquisition.

Notons que la distinction entre recherche fondamentale et appliquée n'a de sens que socialement en fonction de cette première motivation d'acquisition mais que cette distinction perd tout sens dans le cadre de ré-interprétations.

7.4. Le référentiel des données

Quel que soit l'objectif de recherche ayant motivé la collecte d'une DIC, celle-ci résulte d'un processus d'options nous apportant un atome d'information sur l'écosphère. Cet atome pourra être regroupé dans tout ensemble de données et contribuer ultérieurement à toute synthèse interprétative.

La saisie des données se fait pour un multi-usage des données grâce à la gestion de celles-ci par des Systèmes de Gestion de Bases des Données (SGBD). Cette modalité contribue à lever l'un des grands handicaps de l'écologie. Quelles que soient les modalités de collecte et d'analyse fournissant

des données transitoires brutes sur supports papier ou magnétiques, en enregistrement automatique ou manuel, il y a intérêt à développer des procédures d'énoncé relationnel obligeant, au cours de la saisie sur support informatique, et avant le transfert dans une Base des Données, à l'énoncé de relations qui systématiquement lient la donnée au prélevat, à sa situation, ses cotes, son descriptif technique et sa motivation.

Le référentiel des données a pour objet de repérer la donnée acquise dans l'écosphère par ses liens à cette écosphère et ses liens aux données ayant même position dans l'espace-temps écologique. Celui-ci s'appuie sur cinq concepts génériques liés à la donnée :

1) Le prélevat : portion d'espace-temps indissocié ayant fourni la donnée. Le prélevat est limité par des cotes spatio-temporelles, x, y, z, d (d pour durée). Les cotes peuvent être négligées, non enregistrées, ou délocalisées, plus ou moins complètement en exprimant directement par exemple le volume d'un prélevat ou sa surface. Le principe de conservation des DICs devra toutefois être respecté. La durée peut également être "délocalisée" en exprimant les caractéristiques par rapport à une durée standard (g/s ou km/h, travail/mn, ...).

2) La caractéristique ou nature de la donnée que, par analyse de la composition du prélevat, l'on ca-

ractérise dans ce prélevat par la donnée. Les modalités de l'analyse portant usuellement sur tout ou partie du prélevat, sont décrites dans ses modalités par un descriptif technique (DT).

3) La situation des prélevats dans l'écosphère est enregistrée totalement par quatre données (X, Y, Z, D) : les trois euclidiennes et la date (au sens de l'instant dans l'écoulement du temps). Mais en pratique, ceci ne peut pas se faire à toute échelle sans difficulté. La date est toujours repérable avec les précisions souhaitées. La situation euclidienne ne peut pratiquement, pour toute donnée individuellement, être enregistrée directement il y a alors hiérarchie cumulative des situations et des prélevats.

La plus élevée est le lieu indiquant la situation géodésique : longitude, latitude, qui permet de situer la placette d'étude : altitude. Celle immédiatement inférieure est la situation des plots de données dans la placette, grâce à des repères euclidiens (X_1, Y_1, Z_1, etc.). Celle encore inférieure peut être un mésoplot (coupe microscopique ayant ses repères X_2, Y_2, Z_2).

4) La motivation de l'acquisition des données permet de référer la responsabilité de l'acquisition de la donnée, la propriété initiale de celles-ci, les raisons de leur acquisition (problématique, objectif, réalisation, essai, ...), voire le dossier administratif (contrat, thèse, ...).

5) Si nécessaire, l'identificateur assurant le lien entre prélevats associés et associateur.

La donnée est ainsi dans un "contenant" analytique (la caractéristique), un contenant physique (le prélevat) inclus dans un contenant général (l'écosphère) et sa justification sociale initiale (la motivation).

7.5. L'acquisition de données : principes d'optimisation

On peut tenter de résumer des régles générales d'acquisition des données écologiques pour une stratégie d'acquisition optimale des Données Initiales Contrôlées (DICs).

1) Par un principe de sélection des options : que l'on pourrait aussi appeler loi du moindre effort. C'est le choix de sites, de placettes, de prélevats, de moyens d'analyse aussi performants que possible pour un objectif particulier motivant l'acquisition.

2) Par un principe de conservation des DICs et de leurs liens : c'est à chaque étape du travail le souci de ne pas "perdre" une information acquise, même si celle-ci "ne semble plus utile". Ce jugement utilitaire sur les DICs est nécessairement entaché d'une interprétation particulière résultant de l'objectif de recherche parcellisé et souvent d'hypothèses-propositions qui, par essence, sont

subjectives et insuffisantes. Puisque le travail d'acquisition est fait et les moyens modernes de gestion aisés, il faut conserver. La conservation est aussi le seul moyen d'une critique objective (*stricto sensu*) du travail.

3) Un principe d'objectivité. Pouvoir représenter l'objet grâce au référentiel des données aussi complètement que possible (malgré le principe de sélection et grâce au principe de conservation) avec des caractéristiques adéquates au champ écologique et des données adéquates aux caractéristiques.

CONCLUSION GENERALE

Les Bases de Données ouvrent de nouvelles voies à l'écologie : le traitement et l'accès aux données peuvent maintenant être maîtrises par l'utilisateur qui peut interroger toutes les données antérieurement acquises. De plus, les données étant disponibles, il peut définir leur présentation, les organiser pour des applications avec des logiciels statistiques, mathématiques, graphiques, etc. Enfin, et c'est essentiel, la mise en commun de la partie objective, les DICs, est effectivement possible et aisée.

On peut constater que pour l'instant seuls de "gros" logiciels implantés sur des "grosses machines" présentent toutes les propriétés souhaitables et nécessaires aux bases de données pour leur plein usage : contrôle d'intégrité, confidentialité, interconnexion télématique à des réseaux, mais aussi à des micro-ordinateurs où une part importante du travail peut être faite. Par interfaçage avec une base de faits, incluse elle-même dans une base de connaissances, ces données peuvent enfin contribuer à un dialogue formalisé en Systèmes-Experts. Les Systèmes de Gestion de Bases de Données peuvent jouer alors un rôle stratégique entre la gestion des données et la gestion des connaissances.

Tant les logiciels que les matériels sont dans ce domaine en évolution rapide et l'intérêt de telles bases ne peut pas être jugé à partir des contraintes actuelles en matériels, connexions, logiciels... ces éléments techniques, rapidement obsolètes, se remplaçant par des matériels et logiciels plus performants. Il serait notamment à ce niveau incompréhensible d'opposer "grosse informatique" à "petite", le "gros" actuel étant destiné à devenir petit et de toute façon l'un étant complémentaire de l'autre.

De la même façon, les Bases de Données, tout comme le dénombrement d'oiseaux ou la pesée d'une récolte, ne sont pas une fin en soi, mais des moyens d'élaboration dans un contexte intégré en rapide évolution, notamment en écologie par le développement de l'aide à la modélisation actuellement en cours.

Il ne s'agit pas au niveau des Bases de Données d'un problème de traitement biométrique de données, qui dépend des objectifs spécifiques d'interprétation, mais de conceptualisation de la logique d'acquisition des données par les écologues, les agronomes et les environiciens et de mise en forme des ensembles de données et de formalisation des relations par les informaticiens.

Gérant des données, Un Système de Gestion de Bases de Données n'a aucun rôle vis-à-vis de la qualité intrinsèque de chaque donnée, ni des inter-

prétations que l'on fera sur ces données. On peut y gérer de mauvaises mesures, ou également après avoir sélectionné des séries de données correctes, tirer des conclusions erronées sur ces ensembles. Ceci n'est pas du ressort d'un SGBD, mais bien de l'intelligence naturelle.

Par contre, l'utilisation d'un SGBD rend possible le partage des connaissances entre spécialistes en langage quasi-naturel, ce qui pose aux utilisateurs un problèmes de partager les mêmes concepts avec la même sémantique.

Si le choix actuel des logiciels et matériels peut effectivement limiter ou faciliter le travail du spécialiste, dès à présent il est possible par celui-ci de "dé-sectorialiser" ses pratiques, et, tout en restant un bon spécialiste d'un domaine restreint appliqué ou fondamental, de contribuer à la croissance de nos connaissances objectives sur l'écosphère.

En tout cas, la stratégie générale de recherche s'en trouve profondément modifiée. Devant une nouvelle problématique écologique, environnementale ou agronomique, les objectifs de recherche débuteront non plus par l'acquisition de données, mais par l'exploitation des données pré-existantes. La gestion des données, permet ainsi d'optimiser l'éventuel échantillonnage qu'il faudra conduire. Une base de données de ce type, ne marque qu'une étape vers un stade plus avancé, où l'Intelligence Artificielle prendra en compte la connaissance des

experts qui deviendra électroniquement accessible devant tout nouvel objectif de recherche ou demande sociale dans des bases de connaissances.

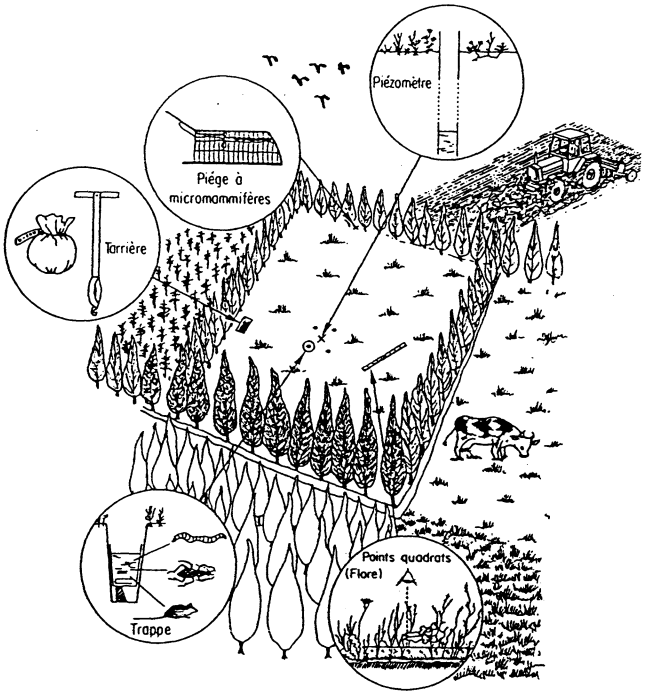

Figure 7 : *L'interdisciplinarité, lors de l'acquisition des données dans une portion de l'espace-temps, permet l'échange et la gestion conjointe d'information objective entre les différents spécialistes (agronomes, écologues, environiciens, ...).*

En résumé, l'organisation et la gestion des données écologiques est possible actuellement grâce

aux Systèmes de Gestion de Bases de Données, et à l'adoption d'un **Schéma Conceptuel Global** qui doit être cohérent avec l'écosphère pour permettre une organisation rationnelle des ces données, assurée par le processus de normalisation des relations, dont les règles doivent absolument être respectées.

La conception et l'évolution des telles bases doivent se faire à la fois vers une simplification permettant une bonne vulgarisation scientifique et vers une sophistication accrue des systèmes répondant aux désirs des spécialisations pour lesquelles elles doivent être conçues. Leurs avenir passent donc en premier lieu par la structuration et la formalisation (dynamique) de nos connaissances dans un travail d'équipe pour parvenir à des systèmes aptes à se développer au service de tous.

BIBLIOGRAPHIE

ACKERMAN, T.P., et W.P. CROPPER Jr, 1988 - Scaling global climate projections to local biological assessments. Environment, **30**, 5, 31-34.

ALLEGRE, C., 1983 - L'écume de la terre. Ed. Fayard, Paris, 1-366.

ANDRO, T., J. BACHACOU, P. DELHOTAL, J.C. FAYET, J. LE RENARD, J.-P. RELLIER, C. THIOLON et V. WAHL, 1988 - SEPV : un ensemble de Systèmes Experts pour l'aide au diagnostic des maladies des plantes cultivées en France. In proc. VIIth int. workshop "Expert Systems and their applications" (Avignon, France, 13-15/05/87), 173-186.

BERTELLIN, J., et F. TOUTAIN, 1979 - Biologie des sols. *In* Bonneau et Souchier (dir.), éd. Masson, Paris, 123-160.

BLONDEL, J., 1987b - Biogéographie évolutive. Ed. Masson, Paris, coll. écol., 20, 1-221.

BLONDEL, J., A. DERVIEUX et al., 1988 - Peuplements d'oiseaux et populations de Mésanges dans la forêt domaniale du Fango (Réserve MAB). Bull. APEEM, 1-26.

BOLIN, B., 1981 - Carbon cycle modelling. Ed. John Wiley, Chichester, 1-390.

BOUCHE, M.B., 1975 - Discussions d'écologie I. Introduction. II. Obtention de données écologiques et uniformisation spatiale. Bull. écol., **6**, 1, 23-32.

BOUCHE, M.B., 1984 - Les vers de terre. La Recherche, 156, juin 1984, Vol 15, 796-804.

BOUCHE, M.B. et R. ALIAGA, 1986 - Contre une dégradation physique et chimique des sols et pour leur optimisation économique, l'échantillonnage des lombriciens : une urgente nécessité. La Défense des Végétaux, 242, 30-36.

BOUCHE, M.B., 1990 - Ecologie opérationnelle assistée par ordinateur. Ed. Masson, Paris, 1-572.

BOUGUERRA, M.-L., 1986 - Les pesticides et le tiers monde. La Recherche, **17**, 176, 544-553.

BRILLOIN, L., 1956 (1959) - Science and information theorie. Ed. Acad. Press New York, trad. franç. 1959 - La science et la théorie de l'information, Ed. Masson, Paris, 1-302.

CALOW, P., 1987 - Toward a definition of functional ecology. Functional ecology, **1**, 57-61.

CANCELA DA FONSECA, J.-P., 1974 - Théorie des systèmes : son application à l'étude des écosystèmes. Ed. lab. zool. écol., Rennes, 1-116.

CASIMIR, D.G., 1982 - Ecosystème prairial. Acta oecol. Oecol. gen., **3**, 1, 1-215.

C.D.A.F., 1842 - Complément du Dictionnaire de l'Académie Française. Ed. F. Didot, Paris, 1-1281.

CHEMIN, J.-L., 1976 - Savoir préserver l'environnement. La Recherche, **7**, 63, 83-85.

CHEN, P.P., 1976 - The Entity-Relationship Model : Toward a Unified View of Data. ACM

Transactions on Database Systems, Vol.1 N°1, January 1976, pp. 9-36.

CODD, E.F., 1970 - A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. Communications of the ACM, Vol.13 N°6, June 1970, pp. 377-387. Reprinted in Communications of the ACM 26, N°1, January 1983.

CODD, E.F., 1972 - Further Normalization of the Data Base Relational Model. In Data Base Systems (R. Rustin Editor), Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1972, pp. 33-64.

COLLONGUES, A. et J. HUGUES, B. LAROCHE, 1987 - MERISE méthode de conception, Ed. Dunot 2ème édition, Paris, 1-240.

DAGET, P. et GODRON, M., 1982 - Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés. Ed. Masson, Paris, 1-163.

DARWIN, C.R., 1859 - The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favored races in the struggle for life (6ème éd., corrigée 1878). Ed. J. Murray, London, 1-458.

DELATTRE, P., et H. THELLIER, 1979 - Elaboration et justification des modèles, applications en biologie. Ed. Maloine, Paris, 1-370.

DELOBEL, C. et M. ADIBA, 1982 - Bases de Données et Systèmes Relationnels. Dunod, Paris, 1-449.

DI CASTRI, F., 1984 - L'écologie. Les défis d'une science en temps de crise. Rapport au Ministre Ind. Rech., éd. La Documentation française, Paris, 1-116.

DI CASTRI, F., et M. HADLEY, 1985 - Enhancing the credibility of ecology : can research be made more comparable and predictive ? Geojournal, **11**, 4, 321-338.

DI CASTRI, F., et M. HADLEY, 1986 - Enhancing the credibility of ecology : is interdisciplinary research for land use planning useful ? Geojournal, **13**, 4, 299-325.

DI CASTRI, F., et M. HADLEY, 1988 - Enhancing the credibility of ecology : interacting along and accross hierarchical scales. Geojournal, **17**, 1, 5-35.

EDWARDS, C.A., (red.) 1973 - Environmental pollution by pesticides. Ed. Plenum press, London, 1-542.

EHRLICH, P.R., A.H. EHRLICH et J.P. HOLDEN, 1977 - ECOSCIENCE : Population, resources, environment. Ed. W. H. Freeman and Co, San Francisco, CA, USA, 1-1051.

ESCOUFIER, Y., 1987 - Méthodes statistiques basées sur un usage intensif de l'ordinateur. Rapp. techn. 8702, Unité Biométrie, ENSAM, INRA/USTL, Montpellier, 1-16.

FISCHER, J.-C., 1972 - La paléoécologie. La Recherche, **3**, 22, 335-343.

FRONTIER, S., 1982 - Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson, Paris, 1-494.

GARDARIN, G. et P. VALDURIEZ, 1985 - Bases de Données Relationnelles : analyse et comparaison des systèmes. Ed. Eyrolles, Paris, 1-326.

GARDARIN, G. et P. VALDURIEZ, 1990 - SGBD Avancés : bases de données objets, déductives, réparties -. Ed. Eyrolles, Paris, 1-255.

GILLARD, A., 1969 - On the terminology of biosphere and ecosphere. Nature, **223**, 500-501.

GODRON, M., 1984 - Ecologie de la végétation terrestre. Ed. Masson, Paris, 1-196.

GRANVAL, Ph., 1988 - Approche écologique de la gestion de l'espace rural : des besoins de la Bécasse à la qualité des milieux. Thèse Univ. Rennes I, 19/12/88, 1-186 + Annexes.

HAECKEL, E., 1866 - Generelle Morphologie der Organismen. 2 tomes, Ed. G. Reiner, Berlin, Tome 1 : 1-463. Tome 2 : 1-574.

HAECKEL, E., 1884 - Histoire de la création des êtres organisés d'après les lois naturelles (traduit de l'allemand : 1866). Ed. Reinwald, Paris, 1-606.

HAWKING, S., 1989 - Une brève histoire du temps. Ed. Flammarion, 1-236.

JAULT, C., 1986 - Les Bases de Données Relationnelles -ou le libre accès aux informations-. Les Editions d'Organisation, Paris, 1-109.

KOUTCHOUK, M., 1989 - SQL et DB2 : le relationnel et sa pratique. Ed. Masson, Paris, 1-226.

LAMARCK, J.-B. de, 1809 - Philosophie zoologique ou exposition des considérations... Ed. Dentu, **1**, 1-428 ; **2**, 1-475.

LAMARCK, J.-B. de, 1822 - Histoire naturelle des animaux sans vertèbres, ... Ed. Verdière, Paris, **7**, 1-711 (cité par G. Laurent, 1987).

LAMBERT, G., 1987 - Le gaz carbonique dans l'atmosphère. La Recherche, **18**, 189, 778-787.

LAROUSSE, 1964 - Grand Larousse encyclopédique. **10**, Ed. Librairie Larousse, Paris, 1-302.

LEBRETON, J.D. et C. MILLIER, 1982 - Modèle dynamique déterministe en biologie. Ed. Masson et Cie, Paris, 1-208.

LEGAY, J.-M., 1986 - Quelques réflexions à propos de l'écologie : défense de l'indisciplinarité. Acta oecol., Oecol. gen., **7**, 4, 391-398.

LONG, G., 1974 - Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire. I. Principes généraux et méthodes. Ed. Masson et Cie, Paris, 1-252.

MARGALEF, R., 1957 - La teoria de la informacion en ecologia. Mem. roy. acad. Barcelona, **32**, 13, 373-449.

MARGALEF, R., 1968 - Perspectives in ecological theory. Univ. Chicago press. public., 1-111.

MIRANDA, S. et BUSTA J-M., 1987 - Introduction aux Bases de Données. Ed. Eyrolles, 2ème édition, Paris, 1-227.

MORIN, E., 1985 - La méthode. Ed. Seuil, Paris. 1. La vie de la vie, 1-399. 2. La nature de la nature, 1-470.

OZIMA, M., et B. MARTY, 1983 - L'origine de l'atmosphère. La Recherche, **14**, 141, 176-184.

PAVE, A., 1987 - Systèmes experts : application à la modélisation en biologie. Matapli, **11**, 5-19.

PICHAT, E., 1982 - Algorithme construisant une base de données sous 3ème forme normale irre-

dondante. In Actes des Journées d'étude ADI Bases de Données, Toulouse, 1982, Hermès Ed.

PICHAT, E. et A. ROCHE, 1989 - Extension de la normalisation aux dépendances d'inclusion. In Actes du Congrès INFORSID 89, Nancy, 1989, pp. 57-77.

PRACONTAL, M. de, 1987 - L'imposture scientifique en dix leçons. Ed. La Découverte, Paris, 1-257.

PRIGOGINE, I., 1972 - La thermodynamique de la vie. La Recherche, **24**, 547-562.

RAMADE, F., 1984 - Eléments d'écologie, écologie fondamentale. Ed. McGraw Hill, Paris, 1-397.

REGNER, A., 1974 - La crise du langage scientifique. Ed. Anthropos, Paris, 1-399.

ROUX, C., et M. ROUX, 1967 - A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie. Rev. stat. appl., **14**, 2, 59-72.

ROSNAY de, J., 1975 - Le macroscope, vers une vision globale . Ed. du Seuil, Paris, 1-346.

SAUVAGE, Ch., 1965 - Taxinomie ou taxonomie. Bull. soc. bot. Fr., **112**, 3/4, 180-182.

SCHERRER, B., 1984 - Biostatistique. Morin (ed), Montréal, 1-850.

SOTO, P. et M.B. BOUCHE, 1989 sous presse - ECORDRE : Une Base de Données Relationnelles pour toutes données écologiques, y compris les actes humains. *In* C.R. Réunion de travail internationale, Etudes pluridisciplinaires et systèmes d'information environnementale, Grenoble (France), 30-31 mai 1989.

SOTO, P., 1990 - ECORDRE : une base de données relationnelle pour toutes données agro-ecologiques. Lettre d'information trimestrielle CNUSC, ISSN 0757-4371, N°35, 19-26.

SOTO, P., 1990 - ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT : Méthodologie et techniques de normalisation des données dans la conception de la base de données "ECORDRE. Rapport technique sur l'état d'avancement du projet. INRA-Montpellier, 1-306.

SOTO, P.et A. ALIAGA, 1990 sous presse - ECORDRE : a relational database for all the agro-ecological data. ISEE 4, Avignon, 11-15 juin 1990.

TANSLEY, A.G., 1935 - The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology, **16**, 3, 284-307.

TARDIEU, H. et A. ROCHFELD, R. COLLETI, 1983 - La Méthode MERISE : Principes et Outils, Editions d'Organisation, Paris.

TRABALKA, J.R. and R.E. REICHLE, 1983 - The changing carbon cycle. A global analyzis. Springer Verlag NY, 1-592.

YANG, C.-C., 1986 - Relational Databases. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

ANNEXE : LEXIQUE

Référendaire : Chacune des trois composantes majeures du champ écologique : l'espace, le temps et la composition. Réutilisation en écologie d'une terme à caractère juridique (1310, bas latin, referendarius, de referre << faire un rapport >>). Aujourd'hui adjectif, conseiller référendaire à la cour des comptes ou campagne référendaire (liée à un referendum).

Globalyse : néologisme. Acronyme de Global et Analyse : somme (= globalité) des données analytiques acquises dans le champ écologique. La globalyse est la fraction connue, observée du champ écologique.
Nota : le système écologique est l'objet, la globalyse sa partie objectivement perçue, le modèle sa représentation transposée.

Prélevat : le prélevat est un objet concret quelconque, donc une portion de l'espace-temps du champ écologique ayant fourni pour chaque caractéristique une DIC et une seule.
Source : Bouché, 1975. Discussions d'écologie, I. II. Bull. écol. 6, 1, 23-32 (néologisme).
Origine : objet défini et résultant (terminaison de type -at, comme dans broyat, exsudat, crachat, résultat, ...) du prélèvement de la donnée car il en est la source : c'est la donnée qui définit rétroactivement le prélevat comme sa source.

Placette : petite place, ou emplacement... déjà utilisée dans ce sens notamment par les chercheurs wallons.
Surface ayant en commun des données, par exemple une sapinière, un itinéraire technique agricole, ou un traitement d'engrais.

Plot : emplacement à l'intérieur d'une placette situé par des repères où est (sont) effectué(s) un ou n prélevats.
Utilisé en géométrie pour marquer un emplacement (en plantant un plot) ou en électromécanique (petite pièce métallique encastrée).
Origine : dès 1295 au sens de billot.

Echantillon : élément(s) représentatif(s) d'un tout (à partir de 1407)
Nota : 1260 ; altération du bas latin eschantillon scandaculum : jauge même origine que scala : échelle (source : Le Robert).

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE 5

CHAPITRE 1 :
L'ECOLOGIE ET LES DISCIPLINES CONNEXES 9
1.1. Introduction 9
1.2. L'écologie 10
1.3. Ecologie et sciences humaines 13
1.4. L'écologie et l'interdisciplinarité 15
1.5. Ecologie et réfutabilité 17

CHAPITRE 2 :
L'INFORMATION ECOLOGIQUE 18
2.1. Introduction 18
2.2. Démarches analytiques, synthétiques et globales 23
2.3. Le champ écologique 25
2.4. Le temps 30
2.5. L'espace : hétérogénéité et continuum 31
2.6. Champ écologique et choix des données : analyse, synthèse et globalité 34
2.7. Données objectives et hypothèses 35

CHAPITRE 3 :
FORMES ET FONCTIONS 38
3.1. Notion de caractéristique 38
3.2. Etats et cinèses 38
3.3. Relations entre états et cinèses 42

CHAPITRE 4 :
ACQUISITION D'INFORMATION 43
4.1. L'élaboration des connaissances écologiques 43

4.2. La donnée : l'élément d'information sur le champ écologique 46
4.3. Donnée et liens 48
4.4. Notion de prélevat 54
4.5. Sélection des données et options 58
4.6. Liens des données au champ écologique 63
4.7. Collecte des données 67
4.8. Options chronologiques sur les prélevats 75
4.9. Options spatiales : prélevats euclidiens, cartésiens, informes et ponctuels 76
4.10. Associations de prélevats (prélevats associés et l'associateur) 80

CHAPITRE 5 :
LES ENSEMBLES DE DONNEES 83
5.1. Objectifs, ensembles et caractéristiques 83
5.2. Options spatio-temporelles sur les ensembles 85
5.3. Qualité des données et des ensembles : les erreurs 86

CHAPITRE 6 :
LA SAISIE DES DONNEES INITIALES 90
6.1. La saisie 90
6.2. Le cas des données continues 92
6.3. Collections et enregistrements (données non saisies) 93

CHAPITRE 7 :
LES LIENS ENTRE DONNEES 95
7.1. L'organisation des données 95
7.2. Situations des prélevats dans le champ écologique 96
7.3. Champ écologique et informations 99
7.4. Le référentiel des données 100
7.5. L'acquisition de données : principes d'optimisation 103

CONCLUSION GENERALE 105
BIBLIOGRAPHIE 110
ANNEXE : LEXIQUE 118