

SYSTEMES D'INFORMATION SUR L'ENVIRONNEMENT : NOUVEAUX OUTILS NOUVEAUX CONCEPTS

(*Christian MULLON & Pascal RENAUD*)

RESUME - Les auteurs présentent dans ce document quelques développements récents de l'informatique et montrent comment ceux-ci peuvent trouver des applications dans les programmes de recherche développés à l'Institut.

Dans un premier temps, en prenant le cas d'une banque de données naturalistes, les possibilités d'implantation à partir des modèles relationnels, sur micro ou mini-ordinateur, et du modèle hypertexte sont évoquées. La seconde partie est consacrée à l'étude d'un grand programme pluridisciplinaire et aux possibilités d'application des méthodes orientées objet. Une comparaison, sur ce cas particulier, avec des méthodes plus classiques, est également avancée.

INTRODUCTION

Nous avons donné à cette communication d'introduction au troisième séminaire informatique de l'ORSTOM, un titre très général. Il est souhaitable, pour en comprendre les objectifs, de la replacer dans le cadre du développement de l'informatique scientifique à l'ORSTOM, et notamment dans celui de la politique d'ensemble mise en place par la Mission Technique Informatique. Cette politique est basée sur l'idée qu'il faut concevoir le processus d'informatisation d'un organisme de recherche de façon dynamique, comme une dialectique entre de nouvelles possibilités technologiques et de nouvelles expressions de besoins, et bien entendu en se donnant des impératifs d'adaptation et d'efficacité.

C'est une politique :

- de standards (Unix, tcp/ip, SQL, X-Windows, Postscript) ;
- de projets adaptés (RIO, réseau informatique ORSTOM) ;
- de veille technologique et d'animation scientifique (Séminfor, Séminaires de formation) ;
- de collaboration avec les instituts de recherche en Informatique (INRIA, LAFORIA de Paris VI, LRI de Paris XI).

Il est évident que le thème des systèmes d'information sur l'environnement est un des thèmes récurrents des programmes scientifiques de l'ORSTOM. De nombreux projets sont en effet confrontés à cette thématique :

- observatoires (celui du Sahel) ;
- systèmes d'informations localisées (Atlas de Quito, SIG Vera-Cruz, etc.) ;
- modèles de changement global (Projet HAPEX) ;

- systèmes de production (Programme Delta Central du Niger).

De nombreuses expériences et des projets de mise en place de systèmes d'information sur l'environnement sont conduites à l'ORSTOM, et seront présentées lors de ce séminaire.

Nous souhaitons ici étudier, d'une façon générale, quelles sont les implications des développements informatiques actuels dans deux domaines particuliers : celui des bases de données naturalistes et celui des programmes multi-disciplinaires. Cela afin de montrer qu'en prenant le point de vue de la recherche en informatique, pour aborder des thèmes de recherche spécifiques de l'ORSTOM, on peut définir une problématique originale. Notre objectif est ici de montrer comment les outils et les concepts actuellement élaborés en informatique s'appliquent aux besoins des chercheurs de l'ORSTOM, de montrer comment l'originalité des systèmes d'information sur l'environnement peut être un sujet de recherche en informatique et enfin, de façon pragmatique, de donner des indications pour des solutions techniques immédiatement opérationnelles.

1. BASES DE DONNEES NATURALISTES

1.1. Introduction

Les exemples de bases de données naturalistes sont nombreux à l'ORSTOM. On peut citer un certain nombre de programmes qui visent à constituer :

- un herbier (herbier de Cayenne) ;
- un inventaire faunistique (systématique des poissons d'eau douce en Afrique de l'Ouest) ;
- un inventaire géologique ;
- un inventaire pédologique (RCA).

Aujourd'hui, il est naturel d'en envisager l'informatisation. C'est naturel, ce n'est pas automatique, ce qui est heureux. On peut classer les solutions d'informatisation en deux grandes catégories basées sur deux modèles alternatifs de représentation de l'information : le modèle relationnel et le modèle hypertexte.

1.2. Le modèle relationnel

1.2.1. Principes

Le modèle relationnel est décrit dans le cadre d'une partie de la théorie mathématique des ensembles, l'algèbre relationnelle, qui formalise des opérations abstraites d'intersection, d'appartenance, d'inclusion, de projection, de produit, etc.. On peut en présenter les grandes lignes de façon plus suggestive en mettant en avant les concepts :

- Table (ou relation). Information mise sous la forme d'un tableau rectangulaire. Chaque colonne est appelée un attribut, par exemple :

Table Individus			
nom	age	ville	profession
Jérôme	34	Bordeaux	Viticulteur
Alain	24	Bondy	Commerçant
Hélène	56	Paris	Médecin
Laurent	18	Angoulême	Sans
Marcelle	68	Bordeaux	Sans

- Base de données. Ensemble de tables pouvant avoir des attributs communs. Par exemple :

Table Individus			
nom	age	ville	profession
Jérôme	34	Bordeaux	Viticulteur
Alain	24	Bondy	Commerçant
Hélène	56	Paris	Médecin
Laurent	18	Angoulême	Sans
Marcelle	68	Bordeaux	Sans

Table Ville		
Ville	Population	Aéroport
Paris	2.000.000	oui
Bondy	45.000	non
Angoulême	87.000	non
Lyon	800.000	oui

- Requête. Manipulation élémentaire de l'information contenue dans la base (interrogation, mise-à-jour. Exemples : "Sélectionner tous les individus de la base ayant une profession et les classer par age croissant". Ou encore "Sélectionner tous les individus de la base habitant dans une ville ayant un aéroport".

- Jointure. Opération qui consiste à croiser des informations se trouvant dans deux tables distinctes d'une même base de données.

Ce qui est important, et qui explique en partie les succès du modèle relationnel, est l'existence d'un langage de requête standard : SQL. Il existe d'autres langages de requête (QUEL, QBE, QBF), mais en général ils sont liés à l'offre d'un développeur et ne sont pas normalisés.

Un autre trait important du modèle relationnel réside dans le principe de normalisation des bases de données relationnelles. Il existe un ensemble de règles contraignantes sur la structuration des tables. Ainsi la première règle de normalisation consiste à imposer une forme rectangulaire pour toutes les tables. Les autres règles de normalisation visent à :

- éviter toute redondance de l'information ;
- assurer son intégrité, c'est à dire à éviter des contradictions dans l'information stockée ;
- la protéger dans le cas d'interrogation et de mise à jour simultanées d'une même base, par un grand nombre d'utilisateurs.

On doit noter également que les systèmes mis en place dans le cadre du modèle relationnel permettent d'en assurer la répartition, c'est à dire qu'il y a possibilité pour les diverses tables de se trouver physiquement sur des ordinateurs différents et connectés en réseau (figure 1).

Nous présentons maintenant, avec leurs implications pratiques, deux possibilités d'implantation de bases de données relationnelles.

1.2.2. Solution Micro-ordinateur avec dBASE

On doit remarquer en premier lieu que dBASE n'est pas à proprement parler un système relationnel et qu'en particulier, jusqu'à de récentes versions, il n'intégrait pas le langage SQL.

Marche à suivre :

- 0 première estimation des volumes d'information et des principaux traitements, débouchant sur une base de taille moyenne et sur une exploitation mono-utilisateur ;
- 1 achat du logiciel et du matériel. Micro-ordinateur de type IBM/PC (20 000 à 50 000 francs). Logiciel dBASE III (environ 8 000 francs) ;
- 2 structuration de la base (définition des tables et des fonctions principales) ;
- 3 programmation des principales fonctions. Programmes de saisie, de mise à jour et d'interrogation, programmes de calcul suivant les cas (de 3 à 12 mois de programmeur, 30 000 francs par mois en prestation de service) ;
- 4 mise en forme et saisie du rétrospectif (coût de saisie en soustraction d'environ 2 centimes le caractère) ;
- 5 mise en exploitation.

Avantages et limitation :

- volume d'information. En théorie illimité, de fait difficulté d'exploiter des bases de l'ordre de 10 Mégaoctets ;

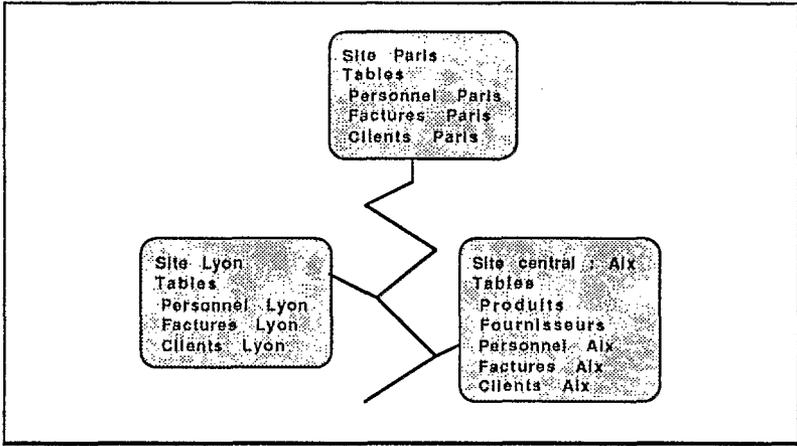


Figure 1 Exemple de base de données répartie

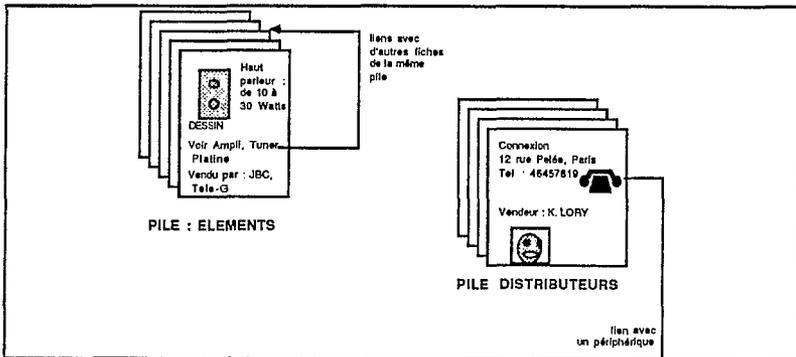


Figure 2 Exemple de base de données hypertexte

- structure relationnelle. En apparence seulement (pas de contrôle d'intégrité, pas de langage de requête déclaratif) ;
- langage de programmation (procédural) propre à dBASE.

1.2.3. Mini-ordinateur avec Ingres

Marche à suivre :

- 0 première estimation des volumes d'information et des principaux traitements, débouchant sur une base de grande taille, sur des gros débits et sur une exploitation multi-utilisateurs ;
- 1 achat du logiciel et du matériel. Mini-ordinateur sous le système UNIX (à partir de 60 000 F). Logiciel INGRES (environ 100 000 francs, mais gratuit sur SUN pour les applications "recherche") ;
- 2 structuration de la base (définition des tables et des fonctions principales) ;
- 3 programmation des principales fonctions. Programmes de saisie, de mise à jour et d'interrogation, programmes de calcul suivant les cas (de 12 à 36 mois de programmeur, 30.000 francs par mois en prestation de service) ;
- 4 mise en forme et saisie du rétrospectif (coût de saisie en soustraction d'environ 2 centimes le caractère) ;
- 5 mise en exploitation.

Avantages et limitation :

- volume d'information en fait illimité ;
- interrogation à distance possible ;
- répartition effective ;
- structure relationnelle effective et complète, avec contraintes d'intégrité ;
- gros débit transactionnel ;
- langage de requêtes standard (SQL).

1.3. Le modèle Hypertexte

1.3.1. Principes

Le modèle Hypertexte est un des premiers modes proposés pour structurer l'information contenue dans les bases de données multi-média, c'est à dire de grands ensembles d'informations de structures différentes (textes, tableaux numériques, photographies, schémas, sons, films).

Le modèle Hypertexte, appelé parfois suggestivement *modèle navigationnel*, est ainsi une façon de structurer une base de données multi-média de façon à pouvoir en extraire des informations pertinentes (figure 2). Les concepts les plus importants du modèle Hypertexte sont :

- carte. Support élémentaire d'information ;
- pile. Ensemble de cartes pouvant être consultées à la suite les unes des autres ;
- base de données hypertexte. Ensemble de piles contenant des cartes qui peuvent être liées les unes aux autres de façon très souple.
- fond. Structure de cartes.

Il est très important de noter ce qui différencie ce modèle des précédents modèles de représentation de l'information : il peut y avoir dans une même pile des cartes de fond différent.

Le modèle Hypertexte est particulièrement adapté pour un logiciel se substituant à ce qui est un outil fondamental du chercheur naturaliste : le *cahier de terrain*. Celui-ci peut comporter, sous une forme décidée par le seul chercheur, selon ses manies, des informations de toute sorte, comme :

- des relevés d'observations ;
- des adresses ;
- des collages photographiques ;
- des notes de lecture ;
- des remarques sur le sujet ;
- des remarques hors sujet ;

qu'il veut pouvoir consulter très librement, sans procédures pré-établies.

De la même façon que pour le modèle relationnel, on peut indiquer les implications pratiques du choix du modèle Hypertexte au sein d'une opération de recherche.

1.3.2. Modalités d'implantation : Hypercard

Marche à suivre:

- 0 évaluation des volumes et des principales fonctions ;
- 1 acquisition d'un Macintosh (de 20 000 à 50 000 francs, le logiciel Hypercard est fourni en standard avec le Macintosh) ;
- 2 éventuellement acquisition d'un Scanner (12 000 francs) ;
- 3 réalisation de la saisie rétrospective ;
- 4 mise en exploitation.

1.3.3 Modalités d'implantation : constitution d'un CD-ROM

Un CD-ROM est un disque laser vendu dans le commerce. On peut aujourd'hui de façon très simple, le connecter à un micro-ordinateur, obtenant ainsi un périphérique :

- de très grande capacité (500 MO) ;
- d'accès assez rapide (un petit peu plus lent qu'un disque dur traditionnel) ;
- d'accès en lecture seulement ;
- de gros débit.

Marche à suivre :

- 0 analyse préalable des volumes et des besoins des utilisateurs ;
- 1 recueil de l'information ;
- 2 programmation de l'interface utilisateur, de un (solution Hypercard) à six mois (solution adaptée) de programmeur. Coût par un façonnier : 100 000 francs ;
- 3 saisie de l'information ;

- 4 presse du CD-ROM. Coût : 50 000 francs ;
- 5 diffusion du CD-ROM. Coût du lecteur : 10 000 francs et coût du disque : 400 francs. On notera que le marché français est actuellement loin d'être équipé.

1.3.4. Comparaison des deux modèles

	Relationnel	Hypertexte
données	numériques texte	numériques texte images films, son
structuration	rigide	souple
interrogation	langage de requête normalisé : SQL	langage de requête graphique
calcul	interfaçage naturel des tables produites par une requête avec les langages de calcul les plus courants	au coup par coup

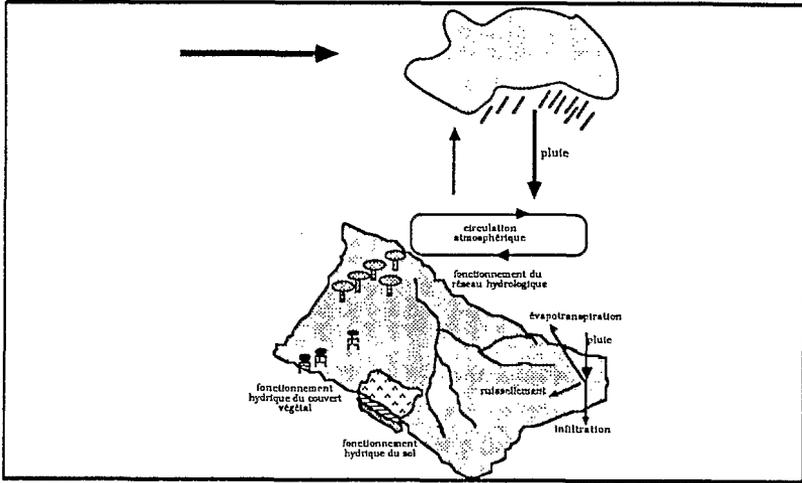
2. PROGRAMMES MULTIDISCIPLINAIRES

2.1. Un exemple de programme multidisciplinaire : le projet HAPEX

HAPEX signifie Hydrological Atmospheric Pilot Experimental. C'est un grand projet scientifique international placé sous la responsabilité de Michel HOEPFFNER, responsable de l'UR "Continent, Atmosphère, Séries Climatiques" du département TOA. Les organismes participants sont fort divers : ORSTOM, CNRM, LAMP, Université de Dijon, Université de Toulouse III. Il s'agit d'un projet de modélisation du bilan hydrologique et du bilan énergétique en climat tropical sec. L'ensemble des phénomènes pris en compte dans un tel projet est représenté sur la figure 3 ci-après (la zone d'étude est de un degré carré : 110km x 110 km), tandis que la figure 4 présente le dispositif expérimental mis en oeuvre.

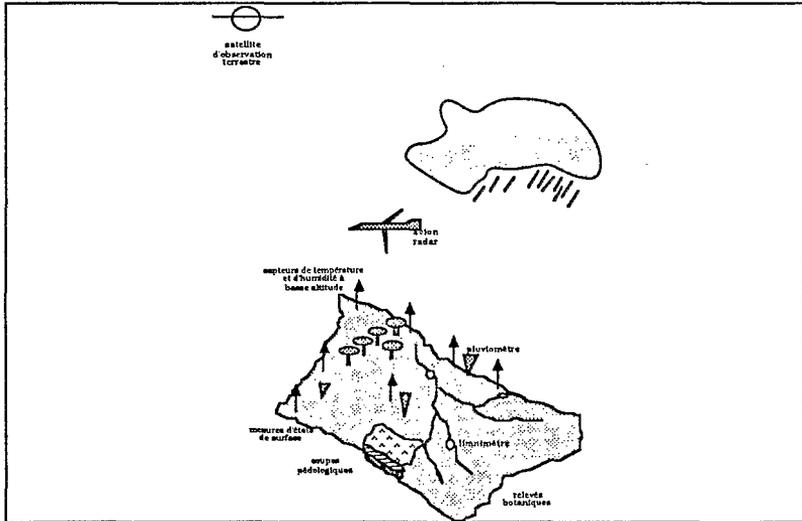
2.2. Problématique de l'informatisation d'un projet multidisciplinaire

On conçoit les difficultés de l'informatisation d'un programme comme HAPEX. Elles proviennent de multiples sources.



LE PROJET HAPEX : VUE D'ENSEMBLE

Figure 3



LE PROJET HAPEX : DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Figure 4

2.21. Volume des données

En première estimation, l'ensemble des données recueillies serait d'environ 1000 bandes magnétiques de densité 6250 bpi, ce qui représente un total de 30 milliards d'octets.

2.22. Origine des données

La multidisciplinarité d'un projet comme HAPEX se traduit dans la diversité de la forme des données. Les hydrologues, les climatologues, les pédologues, les géologues, les botanistes ont tous une pratique du traitement des données qui leur est propre, et ont défini des modes de structuration de l'information pertinents pour leur problématique propre.

2.23. Forme des données

Il faut noter également que la diversité des échelles employées pour recueillir des données se traduit également au niveau de leur structuration. Cette diversité est particulièrement impressionnante dans HAPEX (figure 5). On note des mesures de phénomènes aux échelles suivantes :

- échelle du globe et sur une longue durée (modèles climatologiques, images des satellites météorologiques) ;
- échelle du pays (cartes pédologiques, cartes du couvert végétal) ;
- échelle du bassin versant (modèles hydrologiques) ;
- échelle ponctuelle (coupes pédologiques) ;
- échelle moléculaire (modèles d'équilibre chimique).

2.24. Utilisation des données

Une des difficultés de l'informatisation d'HAPEX provient de ce qu'à la différences des projets de gestion, dans un projet de recherche :

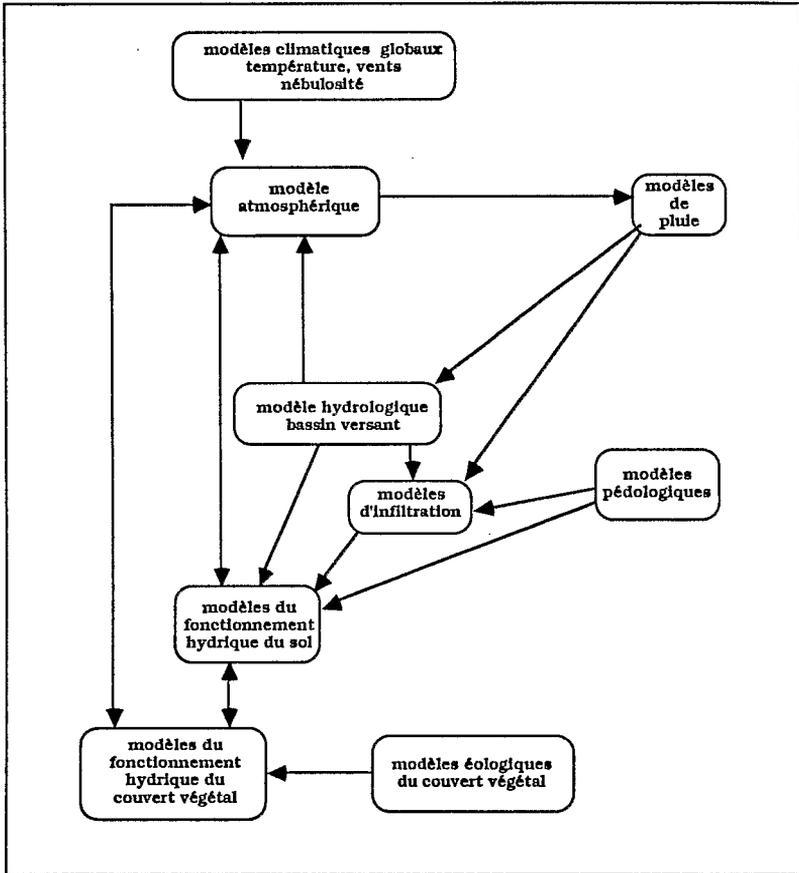
- le but est de trouver un modèle acceptable, non de faire tourner un modèle existant ;
- la mise en place du modèle sera progressive ;
- l'objectif n'est pas la répétabilité, mais une étude globale.

Or la plupart des méthodes d'informatisation et des produits logiciels ont été définis pour la mise en place de projets de gestion et se révèlent peu adaptés.

2.3. Solutions pour l'informatisation d'un projet multidisciplinaire

Le problème de l'informatisation d'un projet multidisciplinaire réside dans l'intégration, dans un ensemble unique, d'un acquis informatique au sein de chaque discipline et de nouvelles questions provenant de contacts multidisciplinaires.

Nous proposons ici d'étudier comment se présentent trois solutions standards que nous définissons de façon schématique comme : pragmatisme, méthode et objet.



LE PROJET HAPEX : SCHEMA LOGIQUE

Figure 5

2.3.1. La solution pragmatique

Cette solution fait appel au bon sens et recommande de :

- laisser chaque équipe mono-disciplinaire utiliser les outils qu'elle maîtrise déjà ;
- définir des règles pour la constitution et l'utilisation des bases de données constituées ;
- définir des formats de données standards qui seront utilisés lors des rencontres multidisciplinaires.

2.3.2. La solution méthodique

Cette solution, qui a été très en vogue il y a quelques années et qui après expérimentation semble voir son champ d'application se restreindre progressivement, consiste à baser toute la stratégie informatique sur l'utilisation d'une méthode d'informatisation (MERISE, AXIAL) qui :

- repose sur l'idée qu'une formalisation du système d'information dans toutes ses composantes (organisationnelle, opérationnelle, temporelle) est possible, et qu'il existe des outils de représentation adaptés (schémas logiques et conceptuels des données et des traitements) ;
- préconise un certain nombre d'étapes, allant du général au particulier (schéma directeur, analyse préalable, analyse détaillée, planification du développement, réalisation du développement et mise en exploitation ;
- aboutit à la mise en place d'un atelier de génie logiciel et d'une base de données (la plupart du temps avec un modèle relationnel).

2.3.3. La solution objet

Le principe de base de la programmation objet repose sur la constatation qu'au fur et à mesure des développements de système d'information, la problématique générale de l'informatisation s'est déplacée et que l'on met de moins en moins l'accent sur la *variabilité des données* et de plus en plus sur la *variabilité des traitements*. Le but d'une informatisation n'est plus d'appliquer des traitements constants à des jeux de données différents, mais d'appliquer des traitements en évolution permanente à une base d'information, remise à jour certes, mais dont la structure est à peu près constante.

Les concepts de base de la programmation-objet sont les suivants :

- objet. Entité reconnue par le système et identifiée par une référence unique. Par exemple : point, rectangle, individu ;
- classe. Collection d'objets ayant les mêmes propriétés statiques (attributs) et dynamiques (méthodes). Par exemple : l'ensemble des points (coordonnées, déplacer, afficher), l'ensemble des rectangles (points extrêmes, agrandir, afficher), l'ensemble de tous les individus (nom, prénom, âge, adresse, changer_d_adresse) ;
- encapsulation. Une méthode n'est applicable à un objet que lorsqu'elle fait partie des méthodes de la classe de cet objet ;
- message. Donnée déclenchant l'exécution d'une méthode liée à une classe et s'appliquant à un objet de cette classe (le destinataire). Par exemple : "agrandir le rectangle X", "donner l'âge de l'individu Marcel" ;

- hiérarchie des classes. Une classe A est une sous-classe de B, si les objets de la classe A appartiennent à la classe B. Ainsi la classe des rectangles de surface 1 est une sous-classe de la classe des rectangles ;

- héritage. Transmission des propriétés d'une classe vers une sous-classe. Par exemple : toute méthode applicable à la classe des rectangles sera applicable aux rectangles de surface 1. Mais attention, ne pas confondre sous-classe et composants : une sous-classe est une spécialisation (les triangles rectangles sont une sous-classe des triangles), alors que les composants sont des parties (les sommets sont les composants d'un triangle).

Il est important de noter que dans un système orienté-objet les requêtes sont dynamiques. Une requête (un message de l'utilisateur) se propage dans le système, déclenchant à son tour, en chaîne, toute une série de nouveaux messages (figure 6). Dans un système traditionnel, les requêtes sont plus statiques : le système répond immédiatement à toute requête qui lui est adressée.

On notera également que les bases de données hypertexte sont conçues à partir des principes de la "représentation objet".

2.4. Représentation orientée objet de l'information d'un programme multidisciplinaire

Pour donner une idée de la souplesse de la représentation orientée-objet, essayons de donner un premier schéma de la construction d'un sous-ensemble des données d'un projet comme HAPEX. Ce schéma est manifestement incomplet et inexact. Mais en essayant de le corriger, on verra comment les notions de classes et de méthodes associées se prêtent à la ré-utilisation du code.

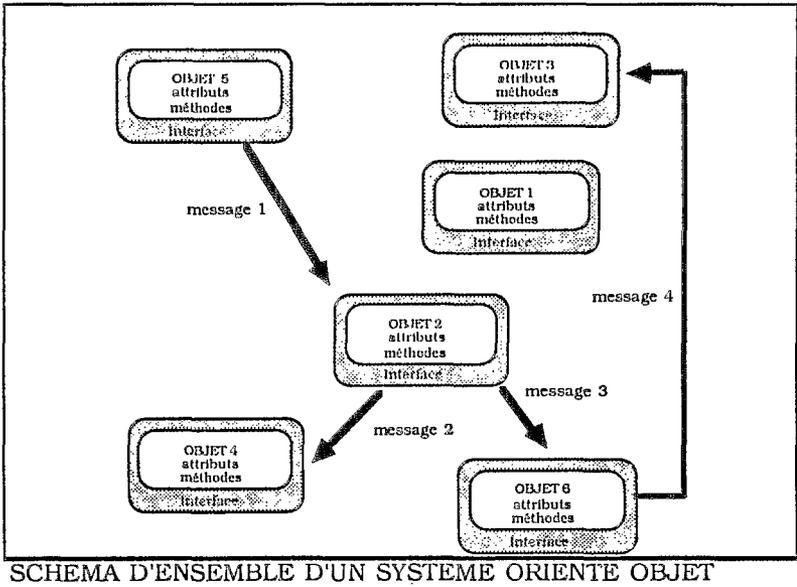


Figure 6

2.4.1. Messages

message	émetteur	destinataire
rasterisation	carte ponctuelle	carte raster
cartographie des états de surface	carte raster (satellite)	carte zone
simulation pluie	utilisateur relevés pluvio relevés pluvio relevés pluvio débits infiltration infiltration pedo eco évapo atmosphère	relevés pluvio débits évapo infiltration évapo pedo eco évapo évapo atmosphère relevés pluvio
classification supervisée	relevés ponctuels	image raster

2.4.2. Classes

TERRITOIRE

description géographique

édition de la description géographique

TERRITOIRE.HYDRO

ensemble de cours d'eau

ensemble de points cotés (MNT)

*extraction de bassins versants**représentation 3-D*

TERRITOIRE.PEDO

ensemble de zones pédologiques

représentation 2-D

TERRITOIRE.ECO

ensemble de zones écologiques

représentation 2-D des flux

ZONES

suite de points (contour)

calcul de surface

ZONES_PEDO

caractéristiques pédo

calculs de masses

ZONES_ECO

caractéristiques éco

modèles écologiques

OBS. PONCTUELLES

OBS. PONCTUELLES PEDO

ensemble de coupes

OBS. PONCTUELLES ECO

ensemble d'éco-systèmes localisés

OBS. PONCTUELLES PLUVIO

ensemble de séries pluvio

OBS. PONCTUELLES LIMNI

ensemble de séries limni

OBS. PONCTUELLES ATMO

ensemble de séries atmo

SÉRIES DE MESURES

suite de points T,F(T)
représentation graphique
calculs statistiques

SÉRIES PLUVIO

lieu
 description du pluviomètre
calculs de cumuls

SÉRIES LIMNI

lieu
 description du limnimètre
 courbe d'étalonnage
calcul de débits

SÉRIES ATMOSPHERIQUES

description du capteur
calculs de flux

CARTE PONCTUELLE

ensemble de points de cartes

CARTE RASTER

ensemble de pixels

CARTE ZONE

ensemble de zones

2.4.3. Représentation objet et multidisciplinarité

Au sein d'une discipline on manipule naturellement des objets, des classes et des méthodes et, en quelque sorte, on pratique la représentation objet, comme Monsieur Jourdain faisait de la prose.

Dans la pratique multidisciplinaire, l'emploi maîtrisé de la représentation objet offre un intérêt supplémentaire. Les difficultés de dialogue proviennent de ce qu'au sein d'une discipline on a tendance à rester "propriétaire" de son information (dans sa définition et son contenu). Avant que l'échange ne se fasse avec une autre discipline, l'information disciplinaire doit être synthétisée en un objet structuré, propre à l'échange; et c'est dans cette opération de synthèse préalable que surgissent les hiatus de dialogue. Avec la représentation objet, notamment avec le concept d'"encapsulation", les tenants d'une discipline, en associant des méthodes à des objets, contrôlent naturellement les modes d'accès à leurs données et peuvent donc les mettre simplement à la disposition de leurs partenaires dans les autres disciplines.

2.4.4. La solution objet, implications pratiques

On trouve actuellement sur le marché des langages orientés objet : Smalltalk, C++, Object Pascal, Microsoft Pascal V.O, etc.. On trouve également, mais souvent sous forme de prototype, des SGBD orientés objets : ORION, VBASE, GBASE, IRIS, GEMSTONE, O2, et des "extensions objet" des SGBD relationnels : SABRINA, POSTGRES, EMPRESS, etc..

Ainsi, alors que la solution orientée-objet semble très séduisante pour l'informatisation des projets multidisciplinaires, il est nécessaire aujourd'hui de la considérer sous un angle expérimental. Les utilisateurs actuels doivent envisager d'essayer les plâtres tant qu'une solution bien standardisée ne se sera pas imposée.

2.5. Comparaison des trois solutions

	pragmatique	méthodique	objet
mise en place	rapide	différée	expé- ri- mentale
aide à la conceptualisation	nulle	importante très contraignante	importante souple
efficacité du système de gestion	faible	forte	?
efficacité du système de développement	moyenne	moyenne	forte
aide à la mise en place de modèles	nulle	faible	importante
forme des requêtes	statique	statique	dynamique
possibilité de prototypage	faible	faible	naturelle

CONCLUSION

Nous avons essayé dans cette communication de montrer qu'un certain nombre d'outils, actuellement développés en informatique, semblent particulièrement convenir à la mise en place des systèmes d'information sur l'environnement, notamment dans le domaine des bases de données naturalistes et celui des grands programmes multidisciplinaires. Parmi ces outils, certains sont immédiatement opérationnels, (le modèle relationnel et le modèle Hypertexte) et nous recommandons très instamment aux chercheurs de l'Institut de tenir compte de leurs possibilités dans le montage de leurs opérations de recherche. D'autres, principalement issus de la formalisation-objet, en sont à une étape expérimentale et leur utilisation dans les programmes doit être envisagée en collaboration avec les laboratoires de recherche dans le domaine. Il faut savoir que ceux-ci sont demandeurs d'expériences en grandeur nature: "*AI-DB integration requires theoretical and experimental work. Experimental AI-DB systems should be developed now to help identify difficult issues and to build a technology base for AI-DB integration. Do not wait for the theoretical problems to be solved before constructing AI-DB systems*" M.L. Brodie, "Future Intelligent Information Systems: AI and DataBase Technologies Working Together", Readings in Artificial Intelligence and Databases, 1988.

La problématique des systèmes d'information sur l'environnement peut ainsi donner lieu à la mise en place de collaborations de recherche entre l'ORSTOM, avec sa vocation multidisciplinaire, sa connaissance du terrain et la richesse de ses données, et les organismes de recherche en informatique dans le domaine des bases de données-objet, mais aussi dans ceux des bases de données déductives et des modèles connexionnistes d'apprentissage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADIBA, M. et alii (1987). *Le PRC Bases de données -BD3*, Techniques et sciences informatiques, Vol 6, n° 5, p.498-505.
- ABITEBOUL, S. & GRUMBACH, S. (1987). *Bases de données et objets structurés*, Techniques et sciences informatiques, Vol 6, n° 5, p.382-404.
- BAILLY, C., CHALINE, J.F., FERRI, H.C., GLOES, P.Y. & MARCHESIN, B. (1987). *Les langages orientés-objet*, Cepadues-Editions.
- BANCILHON, F. & ROMAKRISHNAN, R. (1989). *An Amateur's Introduction to Recursive Query Processing Strategies*, in Readings in Artificial Intelligence and Databases, J. Mylopoulos et M.L. Bordie (editors), Morgan et Kaufman, pp.376-431.
- MASINI, G., NAPOLI, A., COLNET, D., LEONARD, D. & TOMBRE, K. (1990). *Les langages à objets*. Inter-éditions.
- GARDARIN, G. & VALDURIEZ, P. (1990). *SGBD avancés, bases de données objet, déductives et réparties*, Eyrolles.
- GARDARIN, G. & VALDURIEZ, P. (1987). *Bases de données : les systèmes et leurs langages*, Eyrolles.

- GARDARIN, G. & SIMON, E. (1987). *Les systèmes de gestion de bases de données déductives*, Techniques et sciences informatiques, Vol 6, n° 5, pp.347-382.
- CONKLIN, E.J. (1987). *Hypertext: an introduction and survey*. IEEE Computer 2,9, september 1987.
- PINON J.M. (1989). *Multimedia Communication System*. Tutorial presented at the 13th Urban Data Management Symposium (UDMS), Lisbon, Portugal, June 1989.
- VALDURIEZ, P. (1987). *Objets complexes dans les systèmes de bases de données relationnels*, Techniques et sciences informatiques, Vol 6, n° 5, pp.405-418.
- ZDONIK, S.B. & MAIER, D. (1990). *Fundamentals of object-oriented database systems*, in Readings in object-oriented database systems, Zdonik et Maier editors, Morgan et Kaufmann, pp.1-32.