

La surveillance de l'environnement à la FUL

Jacques Nicolas

1. Contexte et historique

Contrairement à la biologie, la géologie, la chimie ou la physique, qui tentent d'établir des principes généraux concernant le fonctionnement du monde naturel, la science de l'environnement est, par nature, une science **appliquée**, dont l'objectif est de résoudre un problème : trouver une alternative aux dommages causés à l'environnement (Raven et al., 1993).

Au-delà du catalogue pessimiste des problèmes et des prédictions inquiétantes pour l'avenir de la planète, le rôle du scientifique est précisément de considérer cette recherche d'alternative comme un moteur, une motivation, un objectif.

Dans sa démarche, les phases d'identification et de compréhension des problèmes, qui précèdent nécessairement leur modélisation et leur solution, le scientifique de l'environnement ne peut les envisager que par une collecte rigoureuse de l'information sur le terrain.

Le scientifique, en l'occurrence, sera donc avant tout un **observateur**, quelqu'un qui tente de comprendre comment fonctionne le monde naturel.

La découverte ultérieure de principes généraux, qui permettraient de réduire l'apparente complexité des phénomènes naturels, constitue en fait un **raisonnement inductif**, basé sur l'interprétation objective de l'information récoltée.

Enfin, puisque l'objectif est de tenter de résoudre le problème posé, le scientifique devra suggérer des stratégies de gestion, des **aides à la décision**, en agissant cette fois au niveau de chaque gestionnaire, de chaque décideur, par le biais d'informations claires, condensées, non ambigües, qui seront le résultat de ses investigations.

Parmi les nombreux problèmes posés dans l'environnement, la Fondation Universitaire Luxembourgeoise a notamment envisagé de travailler sur l'utilisation par l'homme de **deux ressources fragiles : l'énergie et l'eau**.

La pérennité des sources de combustibles fossiles n'étant pas assurée à long terme, c'est vers des sources **alternatives** d'énergie qu'assez naturellement les équipes de recherche se sont tournées : en particulier l'énergie solaire et son stockage.

En ce qui concerne l'eau, le simple maintien de cette ressource indispensable est un défi encore bien plus important, puisqu'il n'existe là aucune alternative, aucun produit de substitution. L'objectif pour les chercheurs était donc avant tout d'évaluer et de tenter de sauvegarder la **qualité** de l'eau.

Un premier point commun aux deux objectifs de recherche est le niveau spatial d'investigation : le choix est davantage un espace **local** (au sens "restreint" du terme, mais pas nécessairement relatif à un endroit déterminé).

Mais ce n'est pas là le seul point commun aux deux domaines. En effet, la démarche décrite plus haut, est également tout à fait similaire. Les trois phases - observation, raisonnement inductif, aide à la décision - sont pertinentes à la fois lorsqu'il s'agit de contrôler les flux énergétiques dans un bâtiment et lorsqu'il s'agit de gérer un système de distribution d'eau potable.

Cette démarche, passage obligé pour atteindre les objectifs de gestion, nous en avons fait un but de recherche.

Ainsi est né le projet *"Surveillance de l'Environnement"* dont la finalité est la mise en oeuvre d'outils de mesure, de traitement des données et d'aide à la décision, spécifiques aux problèmes environnementaux.

Cette orientation nouvelle fut aussi le prétexte à l'élargissement du champ d'investigation : la microphysique de l'air, le climat, le sol, les odeurs sont venus au cours du temps étoffer le potentiel de recherche de l'équipe.

2. La surveillance de l'environnement : une intégration harmonieuse

Surveiller l'environnement, c'est faire appel aux disciplines classiques, la chimie, la géophysique ou la biologie ..., c'est également utiliser les techniques usuelles de mesure et de transmission des données. La métrologie de l'environnement n'utilise que très peu de capteurs ou de méthodes spécifiques : son originalité réside précisément dans l'intégration harmonieuse des diverses disciplines.

Ce fut, dès le départ, un souci implicite dans la démarche de recherche : le thermicien, l'électronicien, le chimiste, le géologue, le biologiste, l'informaticien, l'agronome et le physicien contribuent ensemble à l'avancement des projets.

Notamment les aspects thermiques d'un lit bactérien, dispositif d'épuration de l'eau, ont pu être étudiés grâce à une réflexion commune (Nicolas et Vassel, 1990).

Surveiller l'environnement, c'est aussi intégrer harmonieusement les échelles de temps et d'espace. En effet, chaque phénomène naturel possède sa propre base de temps, depuis la diffusion des odeurs dans l'atmosphère qui prend quelques secondes, jusqu'au changement global du climat qui devient appréciable après quelques décennies. Dans l'espace également, il faut tenir compte de la diversité des échelles : depuis la micro-échelle (parcelle cultivée, village), jusqu'à la macro-échelle qui traite les problèmes des océans et du globe, en passant par l'échelle locale d'un bassin versant et par la méso-échelle qui est celle d'une province, d'un pays.

Si la recherche en surveillance de l'environnement à la F.U.L. privilégie les observations à petite échelle, elle doit néanmoins tenir compte des phénomènes à plus grande échelle qui se superposent inévitablement aux autres et interagissent avec eux.

Ainsi, la méso-échelle, ou échelle synoptique, crée les conditions nécessaires à la formation des brouillards (situation anticyclonique à

faible gradient horizontal de pression), alors que la micro-échelle les rend suffisantes (les bancs de brouillard se forment en des endroits privilégiés tels les fonds de cuvettes, certains ponts, etc.). Ce principe a été mis en évidence lors d'une recherche concernant le lien entre les activités industrielles et l'apparition des brouillards denses sur le viaduc de Beez, près de Namur (Boreux, 1993).

Surveiller l'environnement, c'est enfin tenter d'intégrer harmonieusement une information, par essence,

- diversifiée : il s'agit tantôt de chiffres, tantôt de textes, tantôt de cartes, ...
- floue : la qualité de l'environnement reste une notion fort subjective,
- dispersée : l'origine des informations peut être une base de données, la mesure sur le terrain ou une enquête sociologique.

Si l'on ajoute à ces difficultés un grand nombre de **perturbations**, liées à l'étude du milieu naturel (conditions météorologiques, pollution imprévisible, présence d'animaux, ...), il devient pratiquement indispensable d'employer des méthodes de traitement des données adaptées à cette multitude de sources et de types de données et à cette incertitude liée à l'information.

C'est ainsi qu'ont été testées des méthodes originales de supervision en temps réel du chauffage de nos bâtiments solaires, par exemple un système expert, qui est une technique qui permet de se rapprocher du raisonnement humain, par essence adaptatif et souple (Nicolas and André, 1992).

L'arithmétique floue, qui traite des intervalles plutôt que des nombres s'est avérée également particulièrement adaptée à l'évaluation de grandeurs environnementales, comme la notion de visibilité dans le brouillard (Boreux and Duckstein, 1994).

Les réseaux de neurones, technique mathématique s'inspirant du système nerveux biologique, ont été utilisés avec succès pour discriminer l'origine d'une odeur dans l'environnement, sur base seulement des compositions gazeuses de trois familles chimiques (Maternova et al., 1995).

Enfin, l'analyse canonique des correspondances a été appliquée au regroupement d'espèces macrophytiques aquatiques dans la Semois, en relation avec des paramètres physico-chimiques de l'eau. Il s'agit d'une technique statistique originale qui permet à la fois d'ordonner des espèces observées en divers endroits et de surimposer à ces groupes ainsi formés, un certain nombre de grandeurs environnementales susceptibles d'influencer leur abondance (Thoen et al., 1995).

3. Contraintes et compensations

Travailler sur le milieu naturel impose des contraintes.

La première, et la plus importante, est la non-reproductibilité des conditions expérimentales : il est difficile, voire impossible, de programmer rigoureusement des plans d'instrumentation dans l'environnement. Le

caractère fugace du phénomène que l'on veut observer, l'évolution physique ou biologique du milieu, l'influence du climat, les réactions sociologiques sont autant de facteurs avec lesquels l'expérimentateur devra composer.

La mesure sur le terrain impose en outre une vigilance particulière en ce qui concerne, d'une part, l'autonomie énergétique des instruments placés parfois loin de toute alimentation électrique et, d'autre part, les risques de détérioration du matériel par des causes naturelles, des animaux ou par vandalisme.

La mesure des descripteurs de qualité de l'environnement serait donc très ardue si elle n'était pas, en même temps, très peu exigeante.

La surveillance de l'environnement a souvent comme objectif de mettre en évidence soit le dépassement d'une valeur d'alarme, soit une tendance ou une périodicité dans les grandeurs. Il n'est dès lors pas nécessaire d'exiger de la mesure la même précision que celle souhaitée en laboratoire ou dans l'industrie. En outre, les phénomènes sont lents (le temps de réponse est toujours supérieur à quelques secondes) et des informations redondantes sont souvent disponibles.

C'est la raison pour laquelle une option de notre démarche est de simplifier au maximum le senseur de mesure de manière à en diminuer le coût.

Cette déficience des senseurs est compensée par leur multiplication : un réseau de capteurs de mesure simples placés judicieusement est souvent plus efficace qu'un seul instrument sophistiqué placé en un mauvais endroit. L'intelligence locale, sous la forme d'un microprocesseur situé dans la tête même du capteur, poursuit le même objectif. L'électronique, même de haut niveau, coûte à présent moins cher que beaucoup de senseurs de mesure. Or, un traitement adéquat et en ligne des informations provenant d'un senseur simple peut apporter une information plus complète que certains capteurs plus complexes.

Nous avons adapté ce principe à la mesure du rayonnement solaire. Sur base du signal fourni par un senseur simple et bon marché - une cellule photovoltaïque - un modèle calcule en temps réel le rayonnement global horizontal, les composantes diffuse, directe et normale, ainsi que la partie visible de la radiation et celle qui est active pour la photosynthèse (Nicolas et al., 1995b).

4. L'environnement considéré comme source d'information

L'approche classique de la surveillance de l'environnement consiste à mesurer des paramètres caractéristiques du milieu, comme des concentrations de divers constituants dans l'air, dans l'eau ou dans le sol, pour en déduire une notion de qualité globale de ce même milieu.

Or, il s'agit déjà là d'une manière détournée et artificielle d'évaluer la qualité, alors que certaines composantes de l'environnement peuvent déjà elles-mêmes servir à obtenir des informations.

La simple observation de ce qui nous entoure constitue déjà en soi une manière d'évaluer la qualité de notre environnement. Cette observation critique peut être assurée par chacun d'entre nous, à des degrés divers :

pêcheurs sensibles à la disparition de certains poissons dans une rivière, groupe d'ornithologues amateurs détectant le rôle néfaste des pesticides organochlorés sur les oiseaux, ou simples promeneurs observant les murs lézardés ou les arbres dégarnis.

Lorsque l'observateur est particulièrement averti, la démarche d'observation dépasse le cadre épisodique et peut devenir un thème de recherche si elle est systématisée.

C'est dans cet esprit que le relevé de **bio-indicateurs** peut apporter à la surveillance de l'environnement un éclairage original. Si l'on admet en effet qu'une espèce bio-indicatrice, animale ou végétale, est plus particulièrement caractéristique de modifications du milieu induites par des activités humaines, le relevé de son abondance dans un lieu donné peut fournir une information sur les altérations de ce milieu.

A l'inverse des mesures physico-chimiques, qui représentent des valeurs instantanées, les bio-indicateurs, en intégrant durant leur vie toutes les variations du milieu, fournissent des valeurs plus synthétiques de l'état global de l'environnement. Les deux approches s'avèrent donc tout à fait complémentaires.

C'est ainsi qu'a été réalisé un échantillonnage quasi systématique de la Semois, depuis Arlon jusqu'à sa confluence avec la Meuse. Les relevés de plantes macrophytes aquatiques ont été effectués selon la méthode phytosociologique à raison environ d'une station d'observation par kilomètre courant.

De l'amont vers l'aval, six groupements végétaux ont pu ainsi être caractérisés. Ils sont indicateurs des zones marquées par des conditions abiotiques bien individualisées dans la rivière et permettent d'établir un premier diagnostic de l'état global de la Semois (Roussel, 1995).

Le concept de **biocapteurs**, quant à lui, va un peu plus loin vers la technologie : il s'agit d'un instrument analytique basé sur un récepteur biologique capable de reconnaître une substance donnée dans un milieu.

Ce composant biologique, indispensable à la constitution du biocapteur peut passer du simple au complexe : enzymes, membranes, organelles, cellules (bactéries, levures, ...), tissus animaux ou végétaux, organismes. Il est suivi d'un transducteur qui permet de transformer l'identification de la substance en un signal électrique qui peut alors être traité de façon similaire à celui d'un autre capteur.

A la FUL, une étude a notamment porté sur des bioélectrodes d'estimation rapide de la Demande Biochimique en Oxygène, qui est un paramètre essentiel pour caractériser la pollution organique dans les eaux naturelles ou dans les effluents. Le principe de base est le suivant : un récepteur microbien, en l'occurrence une levure, est placé sur la membrane d'une sonde de mesure de l'oxygène dissous dans l'eau. Lorsqu'un substrat organique est présent dans le liquide, il diffuse à travers la biomembrane et est assimilé par les micro-organismes,

induisant donc une augmentation de la consommation d'oxygène par rapport à la sonde placée dans l'eau pure.

Le flux d'oxygène détecté par l'appareil décroît donc proportionnellement à la concentration de la substance organique et le signal de sortie représente une mesure de la pollution organique dans l'eau (Praet et al., 1995).

Enfin, en dépit des progrès de l'instrumentation, **l'homme** continue encore dans certains cas à jouer les rôles de capteur et d'instrument de mesure.

En effet, l'architecture très complexe du corps humain fait de nos organes sensoriels des capteurs extrêmement sensibles (détection de signaux de très faible amplitude), auto-entretenus, à faible constante de temps, à très large étendue de mesure et adaptables à des conditions variables.

Dès lors que la nuisance environnementale atteint l'homme, elle est nécessairement perçue par l'un de ses cinq sens. Tout instrument de mesure, aussi sophistiqué soit-il, dont l'objectif serait de qualifier exactement la perception de l'homme à une pollution, ne serait qu'une pâle imitation de nos organes sensoriels.

Pourtant, il existe un défaut caractéristique aux sens de l'homme qui limite leur aptitude à effectuer des mesures susceptibles par exemple de présenter un caractère légal dans une expertise : la subjectivité de l'interprétation par le cerveau du signal perçu. Pour la mesure des odeurs dans l'environnement, par exemple, l'olfactomètre reste actuellement basé sur le nez humain considéré comme organe de mesure. Néanmoins, un certain nombre de recherches visent à mettre au point un nez artificiel, peut-être moins performant, mais probablement plus objectif que notre nez.

Ainsi, une des recherches en cours à la F.U.L. a comme but final de développer un appareil portable de discrimination, puis d'évaluation quantitative des odeurs typiques de l'environnement. Il est basé sur un réseau de capteurs de composition gazeuse de certains constituants odorants dans l'air, suivi d'un système intelligent qui traite les signaux et en déduit une signature caractéristique de l'odeur mesurée (Nicolas et Romain, 1995).

5. L'agrégation des informations en un indice de qualité du milieu

Lorsque la surveillance de l'environnement passe par des mesures de grandeurs physico-chimiques, il n'est pas toujours évident de relier ces grandeurs à la notion, plus globale, de qualité du milieu étudié.

Or, le décideur, le gestionnaire ou le fonctionnaire chargés d'évaluer une étude d'incidence doivent rapidement se faire une opinion sur la qualité globale, de manière à être capables de réagir sans délai.

L'agrégation des informations récoltées en un indice unique de qualité du milieu implique un certain degré d'empirisme. Toute méthode possède ses partisans et ses détracteurs, mais chacune d'entre elles a le mérite d'exister et souvent, de bien représenter l'une ou l'autre facette de la pollution de l'environnement. Parmi les indices classiquement utilisés, on trouve l'Indice de Pollution Organique (I.P.O.), qui intègre quatre facteurs chimiques (DBO₅, Ammoniaque, Nitrites et Orthophosphates) en un indice de qualité des eaux

courantes ou encore l'Indice Biotique qui combine les abondances de certains macroinvertébrés benthiques dans l'eau de façon à créer un indice, de 0 à 10, proportionnel à la qualité de l'eau.

Parfois, l'indice peut simplement être une information sous forme dichotomique : comme un risque de nuisance.

Ainsi, nous avons expérimenté avec succès un modèle stochastique pour évaluer le risque d'apparition d'un brouillard dense sur le viaduc de Beez, au-dessus de la Meuse, près de Namur, trois heures avant son éventuelle formation. L'information de départ est constituée de mesures périodiques de huit grandeurs simples : la température, l'humidité et la vitesse de l'air à la fois sur le plateau et dans le fond de la vallée, la pression de l'air et la température de l'eau de la Meuse. Dans ce cas précis, l'indice intégrateur de sortie est : il y aura, oui ou non, brouillard dans trois heures (Boreux, 1993).

Lorsque c'est possible, on tentera de rassembler dans un même capteur les diverses mesures à agréger. Un tel capteur, unique et donc facile à placer, fournit, par construction, plusieurs grandeurs pertinentes au système intelligent de traitement des données.

Nous avons ainsi imaginé un capteur de mesure de la qualité du sol qui permet, dans un seul cylindre poreux de 2 cm de diamètre et 3 cm de hauteur, de mesurer la température du sol, sa salinité, ainsi que sa teneur en eau, déterminée par un procédé thermique original. L'ensemble de ces trois informations, agrégées en un indice de qualité, permettrait le suivi en continu d'une zone à irriguer ou des alentours d'une décharge (Nicolas et al., 1995a).

Le *nec-plus-ultra* en la matière est l'intégration dans le boîtier même du capteur, de l'intelligence capable de traiter les signaux et d'agréger l'information.

Il s'agit alors d'un **capteur intelligent**.

La notion de mesure intelligente revêt un caractère primordial dans le domaine des sciences de l'environnement. Non seulement elle permet d'améliorer la fiabilité de la mesure traditionnelle, mais elle permet en outre d'atteindre des objectifs nouveaux, comme l'apprentissage automatique des valeurs des paramètres des modèles employés ou la possibilité d'un auto-étalonnage du capteur.

En coopération avec cinq autres partenaires européens, l'équipe de la F.U.L. développe notamment le concept de capteur intelligent pour la surveillance de milieux aquatiques.

Plusieurs senseurs, dont des biosenseurs, seront connectés à une carte électronique miniaturisée, dont l'élément principal est un processeur de traitement du signal (DSP), dédié à ce genre d'application (Vasel et Nicolas, 1993).

6. Association d'un modèle à la mesure

La mesure intelligente implique souvent la présence d'un modèle mathématique du phénomène étudié, servant de support au pré-traitement de l'information et à l'évaluation de la grandeur de sortie.

On conçoit aisément l'intérêt d'une telle démarche pour répondre au problème, courant en surveillance de l'environnement, de l'estimation d'une variable qu'il est impossible de mesurer directement. De façon plus générale, l'association d'une mesure et d'un modèle constitue toujours un enrichissement de la mesure, même lorsque le traitement des données est réalisé en dehors du capteur lui-même.

Un exemple d'application est l'**identification** d'un modèle mathématique à un système physique : Il s'agit en fait d'estimer certains paramètres ou certaines variables, non mesurables, en comparant le modèle et la mesure.

C'est ainsi que cette méthode a été utilisée pour estimer la température de l'air dans un local fortement ensoleillé. La température y était mesurée au moyen d'une thermistance placée au centre d'un cylindre d'aluminium poli. Malgré ces précautions opératoires, le capteur était très sensible au rayonnement solaire incident et fournissait une mesure trop élevée en cas d'ensoleillement marqué.

Afin de pouvoir quand même estimer cette température, un modèle mathématique simple du local a été développé, prenant en compte, de façon explicite, l'effet de l'ensoleillement, ainsi que celui des températures des parois des locaux adjacents et de l'ambiance extérieure (André et Nicolas, 1992).

Alors que l'identification associe mesure et modèle en vue de la détermination des paramètres de ce modèle, la **simulation**, elle, suppose l'existence et la définition préalable d'un modèle et concerne toute l'utilisation postérieure qui peut en être faite.

Dans le cadre de la surveillance de l'environnement, la simulation intervient dans le contexte de l'aide à la décision dans le but d'évaluer une situation existante, un projet ou un scénario donné d'un phénomène environnemental, puis d'extrapoler à d'autres situations possibles. Un des enjeux pourrait par exemple être d'évaluer l'effet de composants réducteurs de la nuisance (écrans anti-bruit, filtres, cheminées, ...) sur une installation qui en est dépourvue.

Un des reproches fréquemment formulés par les utilisateurs potentiels d'outils de simulation, comme les bureaux d'études en environnement, est la somme de travail qu'il faut investir pour comprendre l'utilisation du modèle, pour préparer et pour encoder les données d'entrée, et pour analyser les résultats.

Il en résulte une faible utilisation de ce type d'outils.

Une des recherches de la FUL s'est précisément penchée sur ce problème. Elle a abouti à une proposition de logiciel intégré facilitant la prise de décision en matière environnementale. L'intention première de ce logiciel est de faciliter l'utilisation des ressources informatiques utilisables dans une étude, en créant entre elles des interfaces transparentes pour l'utilisateur. Il s'agit en l'occurrence des outils classiques : infographie (représentation informatisée de l'espace, digitalisation des informations spatiales), bases de données (contenant les nombreux paramètres utiles à la résolution du

problème), logiciels de simulation proprement dits, et système expert, capable de suggérer des lignes guides et d'évaluer les différents scénarios.

A ces outils, intégrés dans une structure conviviale, vient s'ajouter une analyse multicritère qui permet de résoudre les conflits en suggérant une solution optimale au problème posé (André, 1993; André et Nicolas, 1993).

Enfin, lorsque la décision, assistée par les ressources informatiques, est prise en temps réel, on quitte le domaine de l'aide à la décision, pour entrer dans celui de la supervision, de la gestion, du contrôle.

Or, cette approche reste compatible avec la surveillance de l'environnement : s'il est possible de réagir directement sur l'installation, le temps de réponse de la correction apportée est plus court et l'objectif final de la surveillance, qui est l'amélioration de la qualité de l'environnement, est atteint plus rapidement.

Plusieurs projets de recherche sont en cours dans ce domaine de la supervision en temps réel, en ce qui concerne notamment les stations d'épuration ou la récupération de biogaz dans les décharges. Mais les activités de l'équipe en la matière se sont surtout orientées vers l'utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment.

La théorie du contrôle optimal a notamment été appliquée pour définir des stratégies qui optimisent à la fois la consommation énergétique et le confort dans un bâtiment de type "solaire passif". Cette théorie, se basant sur un modèle simplifié du bâtiment, vise la minimisation en temps réel d'une fonction dite "de coût" intégrant, en l'occurrence, les notions d'énergie et de confort thermique (André et al., 1991).

7. Moyens techniques et collaborations

La surveillance de l'environnement est une discipline technique, nécessitant des installations parfois assez lourdes et coûteuses. Le projet étant récent, l'institution elle-même étant relativement jeune, les moyens restent encore modestes à l'heure actuelle. Cependant, petit à petit, dans ses domaines spécifiques de recherche, l'équipe a pu se construire un environnement de travail et un tissu de relations qui lui permettent actuellement d'atteindre un niveau international.

Bien sûr, l'avantage dont les chercheurs disposent sur leurs collègues d'autres branches est indéniable : leur champ d'investigation, par définition, est l'environnement, c'est-à-dire la Nature qui les entoure et qui est (souvent) disponible gratuitement. En particulier, la Semois, qui prend sa source à Arlon même, est un magnifique terrain de mesure et d'expérience. Ils disposent en outre d'infrastructures de test et de pilotes expérimentaux, soit sur le site même de l'institution (bâtiments solaires actifs avec stockage intersaisonnier de la chaleur, bâtiments solaires passifs, pilote d'extraction de la chaleur du sous-sol, - Rivez, 1992 - station météorologique, installation-pilote de lagunage aéré, ...), soit chez des collègues et des collaborateurs (maisons

solaires diverses, lit bactérien-pilote, bassins de décantation de sucrerie, décharges, laboratoire de simulation des brouillards, ...).

Ils utilisent les moyens techniques généraux de la F.U.L., comme le laboratoire agréé d'analyses chimiques et bactériologiques, le matériel de prélèvement et d'analyses pédologiques, une unité de cartographie assistée par ordinateur, des unités de microscopie optique, le centre de documentation, l'infrastructure informatique, les ateliers de dessin et d'électromécanique, ...

Ils ont également monté un laboratoire spécifique de métrologie, comprenant des systèmes d'acquisition de données, une caméra infrarouge, un sonomètre, une sonde à neutrons pour mesurer la teneur en eau dans le sol, un compteur optique de particules dans l'air, un système d'analyse des gaz et des odeurs, ...

Cependant, même si les activités sont variées et le programme de travail quelque peu ambitieux, l'effectif de recherche reste réduit : au maximum une petite dizaine de chercheurs.

Il est dès lors indispensable de construire un réseau de collaborateurs scientifiques qui peuvent apporter les compétences complémentaires.

Si les programmes internationaux (Agence Internationale de l'Énergie, Communautés Européennes, ...) nous permettent de créer des liens avec les universités et les centres de recherche en dehors des frontières belges, les relations à l'intérieur du pays sont également nombreuses. Chaque chercheur a quelques contacts privilégiés avec une ou plusieurs universités belges. Les centres de recherche non universitaires (ISSeP, CEBEDEAU, CSTC, CEN/SCK Mol...) et un grand nombre d'entreprises font également partie du tissu de relations ainsi créé.

8. Production et résultats

La production habituelle d'une équipe de recherche est constituée de publications scientifiques, d'ouvrages, de thèses de doctorats et de syllabus de cours.

Le thème de la Surveillance de l'Environnement étant particulièrement porteur actuellement, notre ambition est également de concrétiser la recherche, au-delà des objectifs strictement scientifiques ou académiques, par des applications concrètes, des études et des expertises, mais également en apportant notre collaboration aux travaux et ouvrages d'intérêt général et en suscitant le relais industriel indispensable à la valorisation des outils développés.

Une cellule "expertises et études d'incidences" s'est notamment développée parallèlement aux activités de recherche : le contact avec des études concrètes permet d'affiner les aspects méthodologiques propres à ces études et de tester certains des outils mis au point durant la phase de recherche.

Dans le cadre des projets mêmes de la F.U.L., les chercheurs ont également l'occasion d'utiliser et de tester certains appareils, méthodes ou logiciels développés :

- *un instrument original de mesure de la conductivité thermique des matériaux est fréquemment utilisé pour calculer les bilans thermiques de systèmes d'épuration par lagunage et pour identifier les paramètres influençant la conductivité du sol (Nicolas et al., 1993);*
- *la matrice, imaginée dans le cadre d'un contrat avec la Région Wallonne visant à réaliser un guide méthodologique pour les études d'incidences sur l'environnement, constitue actuellement l'un des outils de base de la cellule "expertises et études d'incidences" (Feltz et al., 1994);*
- *un logiciel d'essai standardisé d'aérateurs, développé dans le cadre d'un contrat (Vasel et Jupsin, 1995) ainsi qu'un programme de calcul des équilibres calco-carboniques (Vasel et al., 1993), sont utilisés en routine par les chercheurs de l'équipe "eau".*

Pour d'autres outils, des partenaires Industriels sont identifiés pour en développer des prototypes commercialisables.

C'est le cas notamment d'un appareil de mesure différentielle de la DBO₅, d'un mini-visibilimètre pour les brouillards, d'un nez artificiel pour les odeurs de sucrerie.

Enfin, une forme de reconnaissance de la recherche est certainement l'invitation à participer à des séminaires, à animer des ateliers, à donner des conférences, à participer à la rédaction de guides ou d'ouvrages divers.

Loin de constituer un aboutissement en soi, cette reconnaissance incite, en tout état de cause, à continuer dans ce créneau de recherche.

Concluons simplement, en remarquant que, particulièrement pour l'environnement, la mesure ne trouve sa justification et son utilité pratique dans les processus décisionnels que si elle s'intègre dans une démarche multidisciplinaire et dans une chaîne complète comprenant aussi des méthodes de traitement adéquates.

C'est de l'adéquation de ces associations que naît une information riche et pertinente.

Bibliographie

ANDRE, Ph. (1993)

Développement et intégration d'outils informatiques pour l'aide à la décision environnementale.

Application à la conception architecturale.

Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement de la FUL - 1^{er} octobre 1993, 338 pages.

ANDRE, Ph., NICOLAS, J. (1992)

Application de la théorie des systèmes à la thermique du bâtiment.

Problèmes de modélisation, d'identification et de contrôle.

Revue Générale de Thermique, 371, pp. 600-615.

ANDRE, Ph., NICOLAS, J. (1993)

An integrated software for building design.

Proceedings of the Conference "Building Design, Technology and occupant well-being in cold and temperate climates" - Bruxelles - 17-18-19 février 1993.

Ed. by E. Sterling et al. - ASHRAE - pp. 7-11.

ANDRE, Ph., NICOLAS, J., RIVEZ, J.F., DEBBAUT, V. (1991)

Applications of the optimal control theory for the definition of energy/comfort efficient strategies in a high thermal inertia passive solar commercial building.

Proceedings ISES 91 Congress - Denver - vol. III, part 2, pp. 3241-3246.

ANDRE, Ph., BOREUX, J.J., HANSON, A., NICOLAS, J., THOEN, D., VASEL, J.L. (1995)

La Mesure et l'Instrumentation - Etat de l'art et perspectives - Chapitre 14 : l'Environnement.

Ouvrage commandité par le Ministère Français de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur.

(Masson) France.

BOREUX, J.J. (1993)

Liens entre activités industrielles et brouillards denses dans la vallée mosane. Prévion du phénomène à court terme.

Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement de la FUL - 12 mars 1993, 179 pages.

BOREUX, J.J., DUCKSTEIN, L. (1994)

A fuzzy approach to the definition of standardized visibility in fog.

Applied Mathematics and Computation, 61, pp. 287-299.

FELTZ, C., GUYON, F., HANSON, A., MATTOS, Y., MORMONT, M., NICOLAS, J., THOEN, D., VASEL, J.L. (1994)

Rapport final de la convention R.W.-F.U.L. : Guide au contenu des E.I.E.

MATERNova, J., NICOLAS, J., ANDRE, Ph., VIGNERON, S. (1995)

Odours Identification in the environment by means of mathematical methods.

Communication présentée au III^e Congrès Odeurs et COV - Paris - 20-22 juin 1995.

NICOLAS, J. (1995)

Surveillance de l'environnement : Méthodologie.

Ed. Academia - Collection Pédasup 31 - 217 pages.

NICOLAS, J., ANDRE, Ph. (1992)

An expert system : a versatile tool for the real-time control of a solar building.

Journal A, **33**, 99-105.

NICOLAS, J., ANDRE, Ph., RIVEZ, J.F., DEBBAUT, V. (1993)

Thermal conductivity measurements in soil using an instrument based on the cylindrical probe method.

Review of Scientific Instruments, **64**, pp. 774-780.

NICOLAS, J., ANDRE, Ph., VASEL, J.L., BOREUX, J.J., THOEN, D. (1994)

La surveillance de l'environnement à la FUL : objectif, méthodes et résultats.

Communication présentée au séminaire "Procédés de contrôle" - ISIL - Liège - 10 et 11 février 1994.

NICOLAS, J., ANDRE, Ph., HANSON, A., MARTIN, V. (1995a)

Un capteur thermique de mesure de la qualité du sol.

Communication présentée au troisième colloque européen "Des capteurs pour l'environnement" - Grenoble - 30-31 mars 1995.

NICOLAS, J., ANDRE, Ph., KUMMERT, M., COTTIN, L., PIERRET, E. (1995b).

A smart radiation sensor for environmental monitoring.

Communication presented at the ISES solar world Congress - Harare (Zimbabwe)

11 -15 sept. 1995.

NICOLAS, J., ROMAIN, A.C. (1995)

Nez artificiel adapté aux odeurs de l'environnement.

Projet de convention "FIRST" Région Wallonne.

Démarrage : mai 1995.

NICOLAS, J., VASEL, J.L. (1990)

Modélisation des échanges thermiques et de la circulation d'air dans un lit bactérien.

Revue des Sciences de l'Eau, **3**, 1990, pp. 303-324.

PRAET, E., REUTER, V., GAILLARD, T., VASEL, J.L. (1995)

Bioreactors and biomembranes for biochemical oxygen demand estimation.

Accepted for publication in *Trends in Analytical Chemistry*.

RAVEN, P.H., BERG, L.R., JOHNSON, G.B. (1993)

Environment.

Saunders college publishing, Fort Worth, 569 pages.

RIVEZ, J.J. (1992)

L'approche environnementale de l'extraction de chaleur du sol.

Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement de la FUL - Arlon - 26 novembre 1992 - 225 pages.

ROUSSEL, L. (1995)

Contribution à la surveillance de la qualité des eaux de la Semois par indicateurs macrophytiques.

Mémoire de D.E.A. - FUL - Arlon - 172 p.

THOEN, D., ROUSSEL, L., NICOLAS, J. (1995)

Contribution à l'étude des groupements de macrophytes aquatiques de la Semois en rapport avec la qualité globale des eaux et du milieu.

Communication présentée au ANPP - Colloque international marqueurs biologiques de pollution - Chinon - 21-22 septembre 1995, 283-290

VASEL, J.L., JUPSIN, H. (1995)

Rapport final du contrat R.W. - F.U.L. : *"Normalisation d'essais d'aérateurs"*.

VASEL, J.L., JUPSIN, H., WARNIER, P. (1993)

Calcul sur ordinateur des équilibres calco-carboniques.

Communication présentée au séminaire FUL "Gestion des circuits d'eau industriels" - Arlon, 1-2 avril 1993.

VASEL, J.L., NICOLAS, J. (1993)

New biosensors development and existing sensors improvement by means of a smart sensor concept -

Application to aquatic media.

Proceedings of the First European Workshop on Biosensors for Environmental Monitoring - Berlin, 15-16, février 1993, p. 15.