

Du concept de BVRE à celui de zone atelier dans les recherches menées en eaux continentales



Actes du Séminaire national
Paris, 10 - 11 mai 1994

HydrOsystemes

**Du concept de BVRE
à celui de zone atelier
dans les recherches menées
en eaux continentales**

Le GIP HydrOsystemes a été créé par six organismes français de recherche (BRGM - CEMAGREF - CNRS - IFREMER - INRA - ORSTOM) auxquels s'est associé l'OIEau. L'objectif est de promouvoir une approche intégrée des hydrosystèmes et de mobiliser la communauté scientifique sur cet objectif.

Cinq principales missions

■ **faciliter les actions communes des membres fondateurs.** Le GIP fournit aux acteurs un cadre formel pour organiser l'échange d'informations, préparer et négocier des actions de recherche entre eux et avec des tiers, assurer la mise en place de moyens expérimentaux.

■ **dialoguer avec les utilisateurs : faciliter et améliorer le transfert de connaissances** entre les structures nationales impliquées dans la gestion des hydrosystèmes et la communauté scientifique.

■ **valoriser les résultats de la recherche** en organisant des séminaires nationaux et internationaux, et en coordonnant la rédaction de synthèses et de manuels. Faciliter l'accès à l'information.

■ **renforcer les relations** entre instituts de recherche et structures de formation, en particulier les grandes écoles et les universités.

■ **représenter la Communauté scientifique** française au niveau national et international.

Des thèmes de recherche prioritaires

- les transferts d'eau et de substances dissoutes ou en suspension.
- les systèmes biologiques.
- les sociétés et les hydrosystèmes.

L'approche intégrée du fonctionnement et de la gestion des hydrosystèmes nécessite également une recherche sur les méthodes et les outils, de la modélisation à l'élaboration de bases de connaissance.

Le GIP assurera également la promotion de sites ateliers où les différentes disciplines pourront réaliser des recherches complémentaires sur le long terme.

Séminaire national
HydrOsystemes

**Du concept de BVRE à celui de
zone atelier dans les recherches
menées en eaux continentales**

Coordination scientifique
Didier Houi
Jean-Louis Verrel

Avant-propos

De création récente, le GIP HydrOsystèmes a été mis en place, au début de l'année 1993, par six organismes de recherche publique (BRGM, CEMAGREF, CNRS, IFREMER, INRA, ORSTOM) auxquels s'est associé l'Office International de l'Eau. L'intérêt qu'il porte aux sites expérimentaux est directement lié aux missions qui lui sont confiées : mieux coordonner l'offre de recherche publique pour répondre aux nouveaux enjeux d'une gestion intégrée des ressources, à travers une approche globale de la totalité d'un bassin versant ou d'un aquifère.

Face à la complexité des systèmes à étudier et à la multiplicité des approches à développer, la recherche a besoin à la fois de plus d'intervenants et de plus de matériels. Il faut disposer de sites expérimentaux ou de zones ateliers équipés en matériel lourd pour mener des recherches sur le long terme en associant des compétences et des disciplines variées : hydrologues, chimistes, modélisateurs, mais aussi biologistes, économistes ou sociologues.

Dès l'origine, les organismes fondateurs du GIP Hydrosystèmes ont souhaité lui confier la mission d'assurer la promotion, la cohérence et le renforcement des moyens expérimentaux consacrés aux recherches sur les hydrosystèmes, tant dans leur mise en place que dans leur utilisation, en en garantissant, si nécessaire, la continuité du fonctionnement.

Il convient, à mon avis, de donner un sens dynamique à cet objectif de continuité : la pérennité d'un site expérimental, l'actualisation de son équipement doivent toujours être examinées dans une logique d'ensemble favorisant le regroupement de moyens, matériels et humains, au service de thématiques de recherche bien identifiées.

C'est dans cet esprit qu'il a été décidé de rassembler en un seul volume l'ensemble des communications présentées à ce séminaire, avec pour objectif :

- de dresser un bilan précis des actions menées sur les BVRE,
- de repérer l'apport d'un tel réseau de sites expérimentaux au développement des recherches sur les hydrosystèmes,
- d'esquisser des développements possibles soit à d'autres échelles de travail (bassins fluviaux), soit sur des aspects à prendre mieux en compte (liaison avec l'atmosphère, biologie, socio-économie).

Enfin, il me semble opportun de rappeler que ce séminaire n'aurait pu avoir lieu sans d'une part les soutiens logistiques respectifs des ministères de l'Environnement et de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, et sans d'autre part le concours actif du Conseil Scientifique et Technique des BVRE qui déploie depuis longtemps de nombreux efforts pour donner un nouvel élan aux BVRE, grâce en particulier aux crédits de jouvence du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

Que tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce séminaire en soient remerciés.

Jean-Louis Verrel

Sommaire

Les BVRE dans la recherche sur les hydrosystèmes

- Du BVRE, bassin versant représentatif expérimental, au BVR, bassin versant de recherche, *Bruno Ambroise* 11
- L'outil BVRE : bilan et perspectives, vus à travers le Comité scientifique et technique (CST) des bassins versants représentatifs expérimentaux (BVRE) *Guy Oberlin* 25
- Le CST BVRE : en rester à la structure légère, ou renoncer? *Pierre Pernès* 45

Quelques BVRE français significatifs

- BVRE de l'Orgeval, *Michel Ferry, Thierry Leviandier* 53
- Les bassins versants de recherche du Real Collobrier, *Jacques Lavabre* 61
- Les bassins de recherche vosgiens (Ringelbach, Strengbach, Fecht) *Bruno Ambroise* 71
- Le bassin versant du Coët Dan, Bretagne, *Philippe Mérot, Charles Cann* 89
- Le BVRE d'Ecerex, *Jean-Marie Fritsch* 99
- Système karstique du Baget, *Alain Mangin* 113
- Le site atelier Allegro, Languedoc, *Marc Voltz, Patrick Andrieux, Claude Bocquillon, S. Rambal* 121
- Présentation des BVRE de Draix, *Didier Richard* 131
- Le programme BVRE Mont-Lozère, *François Lelong, B. Guillet* 139

Les BVRE au service des thématiques sur les hydrosystèmes

- Les processus de surface et l'interaction avec l'atmosphère, *Daniel Vidal/Madjar* 157
- Modélisations hydrologiques, *Michel Vauclin* 165
- La prise en compte des eaux souterraines dans les BVRE, *Thierry Pointet* 171
- Dynamique hydrogéochimique, *Bertrand Fritz* 175
- Transfert des fertilisants et des produits phytosanitaires, *Jean-Joël Gril* 181
- Dynamique des écosystèmes - Intérêt des bassins versants, *Maurice Bonneau* 185
- Les crues rapides, *Bernard Chocat* 193
- Place des BVRE dans les études sur l'érosion hydrique des sols, *Jean Boiffin* 197
- Le cycle de l'eau en conditions tropicales, *Pierre Chevalier* 203

Quel avenir, quelles perspectives pour les BVRE?

- Des BVRE aux milieux aquatiques : problèmes d'échelles illustrés par la qualité des eaux, *Michel Meybeck* 215
- La dimension internationale des BVRE, *Pierre Hubert* 221
- Synthèse et conclusion par le GIP "Hydrosystèmes", *Christian Lévêque* 225

**Les BVRE dans
la recherche
sur les hydrosystèmes**

Du BVRE, bassin versant représentatif et expérimental, au BVR, bassin versant de recherche.

Bruno AMBROISE

Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques
(CEREG, URA 95 du CNRS), Université Louis Pasteur (ULP)
3 rue de l'Argonne, F 67083 STRASBOURG Cedex
Tél : (33) 88 45 64 41 - Fax : (33) 88 41 13 59

Introduction

Initiée depuis longtemps aux Etats-Unis, ayant fait ses preuves lors de la Décennie Hydrologique Internationale 1965-74, l'utilisation des bassins versants de recherche dans le domaine des sciences de la planète et de l'environnement est en plein développement depuis une quinzaine d'années en Europe. En France, par contre, cette approche a été peu encouragée jusqu'à très récemment -malgré les avancées conceptuelles considérables, mais longtemps méconnues, faites dans les années 1955-65 dans le petit bassin d'Alrance (*Cappus*, 1960). La prise de conscience de l'utilité de ces outils scientifiques -permettant de dépasser les études classiques de bassins versants, trop souvent globales ou monographiques-semble maintenant acquise en France aussi (*CST/BVRE*, 1990), comme le montre d'ailleurs la tenue de ce premier Séminaire national.

Le développement actuel de ce type de dispositifs de terrain résulte d'un double constat :

- l'eau étant à la fois ressource, vecteur d'autres éléments (en solution ou en suspension), agent de nombreux processus (géomorphologique, géochimique) et milieu de vie, le cycle de l'eau conditionne directement ou indirectement l'ensemble du fonctionnement du milieu naturel;
- l'extrême imbrication des aspects physiques et biologiques, leur grande variabilité spatiale et temporelle, rendent indispensables une approche interdisciplinaire des fonctionnements sur un même site.

Cette note vise à mettre en perspective les bassins de recherche dans le contexte des géosciences et des sciences de l'environnement, en précisant ce qu'ils sont et ce à quoi ils peuvent servir, en rappelant leurs principales caractéristiques et leurs limitations, et en donnant quelques indications sur le potentiel existant. Elle s'appuie sur une analyse bibliographique du domaine, sur la connaissance d'une trentaine de bassins de recherche en Europe, Amérique et Israël, ainsi que sur l'expérience acquise depuis 1976 avec la mise en place progressive des bassins de recherche vosgiens (*Ambroise*, 1994,a).

BV, BVRE ET BVR...

Le concept de **bassin versant (BV)** -surface drainée par un cours d'eau, en amont d'un point définissant son exutoire- est vite apparu comme essentiel dans l'étude du milieu naturel. En tant qu'unité de bilan, le bassin versant s'impose en effet comme une unité fonctionnelle fondamentale pour l'étude du cycle de l'eau et de son couplage avec les flux d'autres éléments; à ce titre, il est également une unité de base pour la gestion et l'aménagement des ressources en eau. Il s'agit aussi d'un concept intégrateur, qui présente l'intérêt de pouvoir s'appliquer à toutes les échelles spatiales: depuis celle du bassin élémentaire, représentant la plus petite unité spatiale et fonctionnelle où peut se manifester complètement le couplage écosystème-hydrosystème, jusqu'à celle des bassins des grands fleuves; et de pouvoir concerner tous les types de milieu (bassins urbains ou ruraux, agricoles ou forestiers; bassins particuliers de lacs, de karst, de nappe,...). Ceci explique le choix de ce type d'unité spatiale pour de nombreux dispositifs de terrain.

Définitions

Même si, comme le souligne de Marsily (1990), le sigle **BVRE** peut actuellement prêter à quelque ambiguïté (R comme *représentatif*, ou *de recherche*, ou *de référence*? E comme *expérimental*, ou *environnemental*?), sa signification originale est *bassin versant représentatif et expérimental* et s'appuie sur les définitions de ces termes formulées notamment par Toebes et Ouryvaev (1970).

Un **bassin versant représentatif** correspond à un bassin versant (généralement de 1 à 250 km²) dont les caractéristiques physiographiques et le fonctionnement sont considérés comme typiques, ou représentatifs, d'une région hydrologique donnée. Dans le cas de régions hétérogènes, le bassin peut être subdivisé en sous-bassins plus homogènes: des **bassins comparatifs**, ne différant que par l'une de leurs caractéristiques, permettent alors de préciser le rôle hydrologique de cette caractéristique. Ce type d'approche repose sur l'hypothèse que les résultats obtenus sur le bassin et/ou ses sous-bassins pourront être transposés à toute la région ou à des bassins semblables. De ce fait, un bassin représentatif ne doit être soumis à aucune autre perturbation que celles éventuellement subies par la région. Dans le cas de régions à évolution marquée, 2 types particuliers de bassin représentatif peuvent être définis: les **bassins vigies** et les **bassins repères**, "chargés d'être les témoins des effets sur le régime hydrologique de l'évolution normale d'une région pour les uns et de l'absence d'intervention humaine pour les autres" (Dubreuil, 1974).

Un **bassin versant expérimental** correspond à un bassin dont les caractéristiques physiographiques sont délibérément modifiées, de façon à étudier l'impact hydrologique de ces perturbations. Du fait du coût de ces interventions et du suivi détaillé nécessaire, il s'agit généralement de petits bassins homogènes, de taille inférieure à quelques km². L'approche étant essentiellement comparative, le dispositif utilisé comporte généralement soit un seul bassin qui est modifié après une période de calage suffisamment longue, soit des **bassins appariés** (2 ou plus) supposés semblables: après calage mutuel, l'un est modifié, l'autre est gardé comme **témoin**.

Cette terminologie classique reposant sur des notions encore difficiles à définir en hydrologie (représentativité, transposabilité, similitude,...) et renvoyant à des approches souvent empiriques, il apparaît maintenant nécessaire d'introduire le terme de **bassin versant de recherche (BVR)** pour dénommer tout dispositif spécialement conçu et équipé pour étudier de façon précise et détaillée le cycle de l'eau et les flux couplés, ainsi que leurs évolutions naturelles ou artificielles, par une approche dynamique et systémique des mécanismes et de leurs interactions. Bien entendu, un BVR peut être aussi représentatif ou expérimental, mais tous les BVRE ne sont pas des BVR...

Historique

L'analyse historique du développement de ces dispositifs de terrain montre une intéressante évolution des concepts et des thématiques étudiées.

Comme le rappelle *Keller (1988)*, les premiers BVRE datent des années 1900, avec la création des bassins de l'Emmental dans les Alpes suisses, à l'initiative de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich. Dans la terminologie précédente, il s'agissait de bassins versants représentatifs et comparatifs (le Sperbelgraben forestier et le Rappengraben prairial), suivis pour étudier l'effet de la reforestation sur les crues en montagne (l'eau comme agent).

Dans les années 1930, la création par l'USDA du Laboratoire d'Hydrologie de Coweeta (22 km²) dans les Appalaches du Sud (Caroline du Nord, USA) marque l'émergence de la notion de bassin versant représentatif et expérimental, avec la mise en place d'un réseau d'une quinzaine de petits bassins emboîtés comparatifs, dont certains ont subi des modifications totales ou partielles de leur couverture végétale (*Swank et Crossley, 1988*). L'objectif initial était d'étudier l'effet de la végétation non seulement sur les crues mais aussi sur le bilan hydrologique régional (l'eau comme ressource), avec une approche essentiellement globale, empirique et comparative.

Dans les années 1960, le début des recherches dans la forêt expérimentale d'Hubbard Brook (New Hampshire, USA) marque l'avènement du concept de bassin versant de recherche, à vocation interdisciplinaire. Il s'agit là de la première étude intégrée du couplage écosystème-hydrosystème, avec notamment l'établissement de bilans hydrogéochimiques détaillés à l'échelle de petits bassins naturels ou perturbés (l'eau comme vecteur) en utilisant une approche dynamique et modélisatrice des processus et des fonctionnements (*Likens et al., 1977*).

C'est à cette époque que débute également la Décennie Hydrologique Internationale 1965-74 de l'UNESCO, qui a fortement contribué au développement des BVRE dans le monde entier (*AHS, 1965; Toebes et Ouryveav, 1970; Dubreuil et al., 1974*) avec, comme résultat, "le pire et le meilleur": le pire, du fait d'une certaine multiplication de BVRE alibis, mal conçus ou peu durables, sans thématique scientifique ou continuant de privilégier une approche empirique -ce qui a eu pour effet de déconsidérer durablement l'outil BVRE au yeux de nombreux scientifiques; le meilleur, avec l'émergence de l'hydrologie du versant (*Kirkby, 1978*), l'étude systématique de tous les milieux, l'identification des principaux processus et facteurs, conduisant à un développement conceptuel et métrologique considérable en hydrologie.

Quant aux années 1990, elles semblent marquées par une intensification et un approfondissement des recherches interdisciplinaires sur les BVR en relation avec les problématiques environnementales récentes liées aux changements globaux et locaux, avec l'étude des couplages eau-matière-énergie, et notamment le développement de recherches sur les échanges avec l'atmosphère (*Kustas et Goodrich*, 1994). Ceci se traduit par une nette tendance à la constitution de réseaux internationaux de BVR et à l'insertion des BVR dans des dispositifs emboîtés de taille supérieure, pouvant aller jusqu'à la région, et permettant de mieux aborder la question du changement d'échelle, cruciale en hydrologie. L'exemple extrême en est fourni par le bassin du Mississippi, désormais étudié dans son ensemble dans le cadre des recherches sur le climat global et son évolution.

Thématiques

Comme le montre bien la revue bibliographique de *Ward* (1971), et comme le confirme la suite de ce volume, les BVRE et BVR constituent des outils ayant servi, ou pouvant servir, pour de nombreuses thématiques. Un BVR peut d'ailleurs concerner, simultanément ou successivement, plusieurs thématiques: le meilleur exemple en est fourni par le BVR de Coweeta, dont la longévité (60 ans en 1994!) s'explique par un renouvellement périodique des thématiques et des approches (*Swank et Crossley*, 1988). Faisant l'objet de recherches interdisciplinaires, les BVR ont fortement contribué au développement des collaborations entre l'hydrologie et les sciences connexes (hydrodynamique, climatologie, écosystémique, (bio)géochimie, géomorphologie, géophysique,...).

Tout d'abord, les BVR ont joué un rôle déterminant en hydrologie pour dépasser l'approche empirique traditionnelle et aboutir à une approche scientifique du cycle de l'eau, avec la quantification et la modélisation des flux et des bilans, l'identification des processus et facteurs en jeu, la modélisation des fonctionnements (cf. *Ambroise*, 1994,b). Ainsi, c'est sur le BVR d'Alrance en Aveyron (*Cappus*, 1960) qu'a été défini le concept très puissant de zone contributive variable, c'est sur le BVR de Coweeta (*Hewlett*, 1961) que l'importance de la contribution souterraine aux crues a été reconnue, c'est sur de nombreux BVR anglo-saxons qu'a progressivement émergé l'"hydrologie du versant" (*Kirkby*, 1978). Par contre, c'est plus récemment que les unités de bilan que constituent les BVR ont été reconnues comme utiles dans l'étude des échanges d'eau et d'énergie avec l'atmosphère (*Kustas et Goodrich*, 1994).

Ces dispositifs ont également été très utilisés pour de nombreux problèmes concernant l'eau comme ressource, comme vecteur ou comme agent. La plupart des bassins représentatifs a eu comme objectif majeur l'étude des ressources d'une région et de leur évolution; à l'exemple du BVR de Coweeta (*Swank et Crossley*, 1988), de nombreux bassins expérimentaux ont permis de préciser l'effet hydrologique d'aménagement ou de perturbations anthropiques (changement de couvert végétal, d'occupation du sol, de techniques culturales,...). Sur le modèle d'Hubbard Brook (*Likens et Bormann*, 1977), de nombreux BVR ont porté sur les bilans hydro(bio)géochimiques d'écosystèmes tant naturels que perturbés (*Hornung et al.*, 1990), permettant de mieux comprendre les cycles d'éléments dans le système sol-plante-atmosphère, la dynamique d'altération des sols et des roches, et les mécanismes d'acquisition et de transformation de la qualité des

eaux. Le plus souvent sous l'impulsion de géomorphologues (*Burt et Walling*, 1984; *Vogt et Slaymaker*, 1986), des BVR ont permis de quantifier les processus d'érosion, de transport et d'accumulation tant sur les versants que le long des cours d'eau, d'établir des bilans précis de sédiments, d'étudier les effets de précipitations et de crues exceptionnelles, d'analyser les interactions eau-matière en jeu lors des mouvements de masse (laves torrentielles, coulées boueuses, glissements de terrain).

Fonctions

De ce qui précède, il ressort que les BVR -outils au service de thématiques scientifiques- assurent 4 fonctions distinctes mais complémentaires, pouvant coexister ou non sur un même site:

- celle de **laboratoire de terrain** pour des recherches interdisciplinaires se complétant et se valorisant mutuellement, et justifiant par une activité de recherche permanente le maintien à long terme de ces dispositifs: établissement de bilans détaillés, étude des fonctionnements (processus, interactions, couplages), expérimentation in situ,...;
- celle de **observatoire du milieu**, pour mesurer à long terme les flux et les paramètres qui les contrôlent, déceler d'éventuelles évolutions liées à des perturbations anthropiques ou à des changements climatiques;
- celle de **site de validation** de méthodes et d'outils: test et intercalibration de capteurs de mesure, "vérité terrain" en télédétection, constitution de jeux de données de référence pour tester différents modèles,...;
- celle de **lieu de formation**: formation à et par la recherche, formation permanente.

L'outil BVR

Pour répondre correctement à leurs objectifs, les BVR doivent présenter certaines caractéristiques et répondre à certains critères. Ils doivent aussi disposer de solutions pour pallier les limitations inhérentes à tous les dispositifs de terrain (*Ward*, 1971), et pour résoudre certains problèmes opérationnels et structurels pouvant restreindre leur valorisation.

Caractéristiques

Lors de la création d'un BVR, le choix du bassin doit se faire sur la base de plusieurs critères, souvent difficiles à concilier, mais dont dépend grandement la qualité des résultats:

- critère de **délimitation**: le choix de l'exutoire est crucial puisque les limites correspondantes de l'unité de bilan qu'est le bassin doivent pouvoir être déterminées avec précision, et que ce site doit permettre une mesure précise des débits de surface; du fait de la difficulté de leur mesure, il est bien sûr préférable

que les échanges souterrains latéraux, aux limites du bassin, soient aussi faibles que possible.

- critère d'**homogénéité**: selon la nature du dispositif (expérimental ou représentatif) et l'objectif poursuivi, l'homogénéité ou au contraire l'hétérogénéité du bassin sera recherchée pour toutes ou certaines de ses caractéristiques; dans le cas d'un bassin hétérogène, il est souvent important de pouvoir le subdiviser en sous-bassins plus homogènes respectant aussi le critère précédent;

- critère d'**accessibilité**: compte tenu du suivi de routine à assurer et des campagnes de mesures à réaliser, la distance de transport des intervenants jusqu'au bassin et les conditions d'accessibilité par tout temps constituent un critère très important en pratique; de même, l'implantation d'un BVR dépend toujours du bon vouloir des propriétaires du terrain et du soutien des autorités locales: l'absence de maîtrise foncière est un problème majeur pour le maintien à long terme de tout dispositif de terrain.

A ces critères généraux, peuvent s'ajouter des critères plus spécifiques dépendant de l'objectif poursuivi (par exemple, absence de sources de pollution locale dans le cas de bilans hydrogéochimiques).

Pour permettre d'aborder aussi l'important problème du changement d'échelle, il est actuellement fortement recommandé que ces bassins soient constitués de **dispositifs emboîtés** à plusieurs échelles spatiales, équipés pour suivre avec précision les flux (eau, énergie, matière) et les paramètres qui les contrôlent (cf. *Toebes et Ouryvaev, 1970; Mailhol et al., 1984*):

- des **stations de mesures** (parcelles, versants,...) situés sur des **transects** représentatifs, pour quantifier les flux verticaux et latéraux dans le système sol-plante-atmosphère, établir des bilans locaux, étudier les mécanismes élémentaires et leurs interactions, caractériser les hétérogénéités locales;

- des **bassins élémentaires** relativement homogènes pour contrôler par des bilans détaillés la cohérence et la validité de ces flux élémentaires, estimer la représentativité spatiale des mesures locales, rechercher des descripteurs globaux de fonctionnement;

- des **bassins versants** de taille croissante englobant une mosaïque d'écosystèmes et de conditions différentes à l'échelle du paysage, pour étudier les solidarités amont-aval et les relations entre la structure de l'espace et son fonctionnement, analyser les phénomènes d'intégration spatiale et de changement d'échelles, tester les apports de la télédétection.

Ils doivent également être intégrés dans des **réseaux** de bassins de recherche recoupant une large gamme de conditions physiographiques et climatiques et permettant de tester la généralité et la transposabilité de ces résultats et modèles. Ceci passe par une harmonisation des protocoles d'observation et la constitution de bases de données communes.

Limitations

Contrairement aux expérimentations en laboratoire, où le **contrôle** de toutes les conditions peut permettre une bonne et rapide reproductibilité des résultats, les recherches sur BVR souffrent d'un manque évident de contrôle possible (sauf dans le cas de microbassins) sur les conditions climatiques imposées, leur fréquence et leur séquence. Cette difficulté majeure est partiellement compensée par une longue durée d'observation, afin d'échantillonner toute la gamme des conditions possibles et d'obtenir des jeux d'événements similaires en nombre statistiquement suffisant, ainsi que par l'utilisation de réseaux de BVR le long de transects climatiques. Ceci explique la durée des recherches portant sur les aspects saisonniers des fonctionnements hydrologiques et donc soumises au rythme annuel, la difficulté d'identifier des évolutions hydrologiques significatives plus ou moins masquées par le "bruit de fond" climatique, la difficulté d'étudier sur des BVR les aléas liés à des conditions extrêmes (exceptionnelles et imprévisibles).

Ce manque de contrôle concerne aussi la nature même du bassin et son évolution. Dans le cas de petits bassin expérimentaux, seules quelques unes de leurs caractéristiques sont susceptibles d'être modifiées, pour des raisons économiques ou techniques évidentes; de plus, le retour à l'équilibre peut être très lent à atteindre en milieu naturel, obligeant au maintien à long terme du dispositif. Inversement, en l'absence de maîtrise foncière, l'activité anthropique sur les BVR peut provoquer des évolutions lentes ou conduire à des perturbations brutales non contrôlées, compliquant voire empêchant l'interprétation des résultats.

Une autre difficulté majeure concerne la **représentativité** des bassins et la **transposabilité** des résultats (avec ou sans changement d'échelle). Faut de bons critères de similitude hydrologique pour définir tant la similarité entre 2 bassins que la représentativité d'un bassin dans une région donnée, l'approche globale et empirique initialement utilisée avec les bassins représentatifs a rendue souvent difficile la transposition de leurs résultats (*Rodier*, 1982). C'est que, comme le note *de Marsily* (1990), les propriétés d'"émergence" spatiale ou temporelle des systèmes hydrologiques semblent limitées, du fait de leur complexité, de leur grande variabilité spatio-temporelle, et de leur comportement fortement non-linéaire et hystérétique.

Cette difficulté a pu être en partie contournée dans les BVR, en adoptant une approche dynamique et systémique des fonctionnements, centrée sur l'étude et la modélisation des mécanismes, des facteurs qui les contrôlent et de leurs combinaisons. Ce qui est alors transposable, ce ne sont plus les résultats quantitatifs obtenus sur un BVR, mais plutôt les "clés de lecture" qui y ont été trouvées pour identifier les processus et paramètres dominants, ainsi que l'analyse et la modélisation à bases physiques des processus et des comportements, qui elles peuvent avoir une portée générale. Le BVR apparaît alors comme "un instrument privilégié d'étude de ces systèmes désordonnés complexes, non linéaires, non émergents, non stationnaires ayant pour vocation principale de rechercher et de représenter les émergences partielles (dans le temps et dans l'espace) qui peuvent être modélisées pour simuler telle ou telle partie du cycle de l'eau" (*de Marsily*, 1990). Ceci passe néanmoins par la constitution de réseaux de BVR aux caractéristiques différentes, ainsi que de dispositifs assurant un emboîtement d'échelle: la nature est trop complexe, les combinaisons de facteurs

et de processus trop multiples, pour qu'il soit possible de les comprendre et de les modéliser à partir d'un seul bassin, d'une seule échelle.

Une autre difficulté, de nature plus technique, est liée à la **qualité des données** collectées. La précision des mesures et la continuité des séries est bien plus difficile à assurer in situ qu'en laboratoire, du fait d'une fiabilité moindre des appareils soumis à des conditions climatiques parfois rigoureuses. La forte variabilité spatiale et/ou temporelle des paramètres limite aussi la représentativité de toute mesure; ceci pose des problèmes complexes d'échantillonnage, pas toujours bien résolus en raison notamment du surcoût d'une densification du réseau de mesure. Enfin, l'adéquation entre l'échelle de mesure (le plus souvent locale) et celle des phénomènes étudiés est difficile à assurer, faute de solutions techniques appropriées: le développement de méthodes de mesure plus intégratrices conditionne largement les progrès de nombreuses recherches in situ. Il en résulte une incertitude, difficile à estimer, sur les flux et les bilans mesurés. Seul un effort important de développement métrologique permettrait de la réduire -comme cela a été réussi dans d'autres domaines des géosciences.

Problèmes

Un bassin de recherche -qui ne se justifie que sur une longue période- est équivalent à un **équipement "mi-lourd" du CNRS**: sans être d'un coût d'investissement et de maintenance très élevé, il nécessite une infrastructure de mesure importante, du personnel permanent qualifié (ingénieur, technicien) pour assurer leur gestion et la collecte, le contrôle et l'archivage des données, et des moyens financiers suffisants pour le suivi de base et la jouvence du matériel. La concentration sur un même site bien choisi de moyens complémentaires et de recherches se valorisant mutuellement peut cependant conduire globalement à une économie d'échelle. Ces moyens ne sont pas toujours disponibles de façon satisfaisante -notamment en France, probablement faute d'une Agence de moyens multi-organismes.

Par ailleurs, les **questions juridiques et déontologiques** posés par ces dispositifs de terrain doivent impérativement être bien précisées a priori dans chaque cas: statut juridique, structure d'animation scientifique (coordination, évaluation,...), "règles du jeu" collectives (accès aux sites, aux équipements, aux données; droits d'auteur; règles de publications;...). Une réflexion approfondie reste à mener sur ces questions, qui sont sources potentielles de conflits difficiles à régler a posteriori. Il est en particulier indispensable de bien mieux valoriser et "protéger" l'activité d'acquisition des données in situ, souvent longue, parfois pénible mais rarement gratifiante. L'"accessibilité aux données", qui ne signifie pas forcément "libre accès aux données", sera d'autant mieux assurée qu'elle se fera dans le cadre de collaborations explicites et équilibrées entre les producteurs de données et les autres utilisateurs potentiels, et notamment les modélisateurs. Une bonne modélisation dépend tout autant de la qualité du modèle que de celle des données.

Enfin, compte tenu de l'investissement matériel mais aussi scientifique en jeu, il est important de définir des **procédures d'évaluation** pour décider de la création, de l'extension et de la suppression de tels dispositifs: il faut tout autant éviter de maintenir un BVRE non productif ou mal adapté que de fermer arbitrairement un