

ILEE - Appel d'offres 2005

Type de demande

Soutien de programme / Equipement

Titre du projet :

Caractérisation multi-échelle des transferts hydriques dans un bassin versant. Application à la modélisation et à la prévision des crues "éclair"

Nom du porteur :

Sophie **SAUVAGNARGUES LESAGE**

Enseignant-Chercheur, Responsable pédagogique de l'Option "Management des risques majeurs" ECOLE DES MINES D'ALES - LGEI

6, Avenue de Clavières F-30319 Alès cedex

Tél : 04 66 78 27 91

Christophe **BOUVIER**

Directeur de Recherche IRD, Responsable Equipe "Aléas hydrologiques liés aux Evénements Extrêmes"

UMR 5569, HydroSciences Montpellier

300 av. Emile Jeanbrau, 34090 Montpellier

Tel : 04 67 14 90 73

Unités Participantes :

EMA : S. Sauvagnargues-Lesage (MC), P.-A. Ayrat (Doc.)

HSM : C. Bouvier (DR), P. Brunet (IE), J.-L. Perrin (CR), A. Marchandise (Doc.)

BRGM : J.-F. Desprats, E. Petelet Giraud (IR, Orléans)

UMR3S : C. Puech (DR), S. Bailly

INRA : ?

Argumentaire scientifique

Les crues "éclair" (IAHS-UNESCO-WMO, 1974 *in* Gaume, 2002) sont définies comme des « *Crues dont l'apparition est soudaine, souvent difficilement prévisible, de temps de montée rapide et de débit spécifique relativement important. Ces crues sont donc généralement liées à des épisodes pluvieux intenses et se manifestent sur des bassins de taille modérée* ». Du mois de juillet 1997 au mois de juin 2001, 31 catastrophes provoquées par des crues éclair ont été recensées dans le monde (Montz et Grunfest, 2002). Plusieurs zones géographiques ont été touchées, dont notamment le domaine méditerranéen (Italie en septembre 2000, France en novembre 1999 et en septembre 2002).

La protection contre ces crues, tant par la prévention que par la prévision, passe par une meilleure connaissance des transferts de l'eau dans le bassin. Divers processus élémentaires, éventuellement combinés, peuvent en effet être à l'origine de ces crues : ruissellement par

excès d'infiltration ou par excès de saturation, écoulements préférentiels dans les macropores des horizons superficiels des sols ou dans les roches fracturées, effet piston, exfiltration, intumescence de nappe (Ambroise, 1998; Bouvier, 2004). Chacun de ces processus induit une dynamique très différente en ce qui concerne les volumes produits et les temps de réponse, et il importe d'identifier ces processus et leur combinaison pour obtenir une prévision hydrologique de qualité (Perrin et al., 2001).

Fondamentalement, l'identification de ces processus ne peut être dissociée des échelles spatiales considérées (Puech, 2000). Ainsi, les temps de transfert sub-superficiels peuvent être déterminants à l'échelle de la parcelle, et tout à fait négligeables à l'échelle de bassins de plusieurs dizaines ou centaines de km². Le cas inverse peut également se produire. En d'autres termes, il s'agit donc d'identifier les échelles spatiales sur lesquelles on va baser le découpage du bassin, représenter les processus dominants, et définir les indicateurs pertinents.

Le bassin retenu est le Gardon en amont d'Anduze (545 km²), qui a déjà fait l'objet de différents travaux de modélisation (Moussa, 1991; Moussa, 2003; Marchandise et al., 2004; Ayrat, 2005), dont l'interprétation physique reste difficile. Dans ce contexte, les processus seront analysés selon 3 échelles spatiales :

- échelle locale
- échelle versant
- échelle du bassin

1. Echelle locale (du cm à quelques mètres)

En ce qui concerne les flux hydriques, c'est le domaine du mesurable. On procédera notamment à des mesures d'écoulements à différentes profondeurs (en surface, dans les horizons superficiels, puis profonds, des sols), sous pluies naturelles et artificielles. Outre la mesure directe des écoulements, on utilisera différents dispositifs de mesures électriques (TDR, multi-électrodes) et chimiques (injection de traceurs) pour suivre la dynamique des écoulements dans le sol.

En parallèle, on caractérisera finement les propriétés hydrodynamiques des sols (porosité, conductivité, rétention), et on cherchera à interpréter les résultats expérimentaux, à l'aide de simulation numérique.

On s'intéressera également à la dynamique de l'humidité des sols à différentes profondeurs, par couplage de mesures multi-temporelles réalisées par TDR et par sondages électriques.

2. Echelle versant (~ hectométrique)

Les questions posées à l'échelle du versant portent sur :

- le développement de nappes et de zones saturées liées aux flux latéraux et verticaux,
- le rôle des drains superficiels, susceptibles par leur densité et leur profondeur de capturer les écoulements sub-superficiels, et de les mettre en écoulement gravitaire,
- la variabilité des caractéristiques des sols, et les conséquences sur la paramétrisation, voire la continuité, des processus hydrologiques.

En ce qui concerne le développement des zones saturées, on combinera approches expérimentale et numérique. D'un point de vue expérimental, on disposera des piézomètres

pour suivre le développement des nappes et des zones saturées. Sur ces ouvrages, en domaine de granite et/ou de schistes, des analyses chimiques et isotopiques seront réalisées pour caractériser les différentes venues d'eau (zone altérée, zone saine fracturée). On analysera également la composition chimique des eaux de ruissellement en aval du versant pour caractériser la signature et la provenance des écoulements. D'un point de vue numérique, on procédera à des simulations des flux à des échelles hectométriques le long des versants à l'aide de modèles bi-dimensionnels (ARC DYNAS; thèse Esclaffer en cours au CERREVE; Guinot 2004).

La densité et la géométrie des drains superficiels sera caractérisée par des relevés de terrain, en remontant les ravines ou en quadrillant différents secteurs d'intérêt. On cherchera à dégager une typologie des drains en fonction des unités topographiques et géologiques. Les indicateurs topographiques seront déduits de MNT qu'il faudra obtenir avec précision à l'échelle des versants. On procédera également à des reconnaissances systématiques après les épisodes de pluie intenses (retours d'expérience) pour apprécier la mise en eau de ces drains et contribuer à valider les modèles d'écoulement.

On intégrera à cette réflexion les travaux menés sur un petit bassin de 3 km² sur substrat granitique par le CNRS (UMR Espaces)

3. Echelle bassin (quelques kilomètres ou dizaines de kilomètres)

On cherchera à caractériser la signature des eaux issues des sous-bassins à géologie contrastée, et à quantifier leur contribution au cours des épisodes de crue. On procédera à l'exutoire principal et à l'exutoire de différents sous-bassins à des analyses chimiques des écoulements portant sur les ions majeurs, sur les teneurs en strontium et rubidium et sur les rapports ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (Petelet et al., 1998 ; 1999 ; Petelet-Giraud et al., 2003a, b; Petelet-Giraud et al., 2004).

Résultats attendus et applications

D'un point de vue scientifique, ce projet vise à apporter des connaissances sur différents thèmes comme :

- hydrologie et changement d'échelle,
- caractéristiques et organisations des sols : variabilité 3D,
- caractéristiques et évolution temporelle des teneurs en eau,
- caractérisation des flux latéraux et répartition à différentes profondeurs,
- typologie des versants au regard du drainage hydrographique,
- circulations profondes et impact sur les épisodes de crue.

Ces travaux feront l'objet de publications scientifiques, relatives à chacun des thèmes cités.

D'un point de vue opérationnel, ces connaissances conduiront à proposer des modèles plus performants pour la prévention et la prévision des crues en zone méditerranéenne, intégrant des échelles et des indicateurs pertinents. De même, ce travail de recherche devrait permettre d'élaborer et de tester des protocoles expérimentaux pertinents pour le suivi des bassins versants en vue d'y pratiquer une prévision efficace. Ces objectifs satisfont à la demande des services nationaux (SCHAPI, SPC).

Les contributions des différentes unités participantes sont complémentaires :

BRGM : analyses chimiques et isotopiques, fonctionnement du bassin,
UMR 3S : imagerie spatiale, MNT et typologie du drainage,
EMA : parcelles expérimentales Tourgueille et Peyrolles,
HSM : parcelles expérimentales Sumène, hydrodynamique et humidité des sols, modélisation numérique
UMR Espaces : bassin expérimental Peyrolles
INRA : caractérisation des sols, approches fractales ?

Fiche budgétaire

Le budget demandé correspond à l'achat d'un résistivimètre multiplexé sur 24 électrodes. Ce dispositif mesure les résistivités des différentes couches des sols selon l'écartement des électrodes d'émission du courant électrique. Les applications prévues dans le cadre de ce projet consistent à :

- mesurer la profondeur et les structures verticales des sols
- déterminer la teneur en eau à différentes profondeurs
- mesurer les flux latéraux, par détection du passage d'un traceur (sel) en aval d'une source d'injection

Cet équipement permettra également d'envisager d'autres applications sur les structures profondes, dans le cadre de ce projet ou d'autres équipes réunies au sein de l'IFR.

Coût de l'équipement : 10.000 euros **(8000 euros)**¹
(cf pro-forma en annexe)

Le budget demandé est également destiné à couvrir les frais de terrain (ce travail de recherche attribuant un intérêt prépondérant à l'expérimentation et à l'observation sous pluie naturelle) et les coûts d'analyse: ions majeurs et isotopes du strontium.

Coût de fonctionnement : 8.000 euros **(6000 euros)**¹

Coût analytique : 20.000 euros **(20000 euros)**¹

37 échantillons avec analyses suivantes :

. Majeurs type B (Ca, Mg, Na, K, CO₃, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁼, NO₃⁻)

. Teneurs Rb + Sr

. Rapport ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr

Ces analyses seront faites à Orléans.

Coût total : 38.000 euros **(34000 euros)**¹

Echéancier

Durée : 18 mois

Le planning suppose un début du programme de recherche en mars 2005.

Mois	2	4	6	8	10	12	14	18
-------------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

¹ En gras, la part de co-financement demandée à ILEE

Phase 1			
Phase 2			
Phase 3			
Phase 4			
Phase 5			
Rapports		x	x

Phase 1 : Mise en place des protocoles expérimentaux, mise en cohérence des démarches de chaque organisme, premières sorties terrain

Phase 2 : Premiers tests des essais précédemment définis et éventuellement redéfinition des protocoles (premier rapport)

Phase 3 : Observations et expérimentations intenses durant la fin de l'été et l'automne 2005

Phase 4 : Analyse des résultats, retour d'expérience et modélisation numérique (second rapport à mi-parcours de l'axe 4, faisant état des premiers résultats et de la démarche de modélisation numérique entreprise).

Phase 5 : Synthèse de ce travail de recherche : avancés, limites & perspectives

Références bibliographiques (en gras souligné, les participants au projet)

Ambroise B., 1998. Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré : processus et facteur, *Revue des sciences de l'eau*, pp. 471-495.

Ayral P.A., 2005. *Contribution à la spatialisation du modèle opérationnel de prévision des crues éclair ALHTAIR – Approches spatiale et expérimentale – Application au bassin versant du Gardon d'Anduze*, Thèse de Doctorat, Université de Provence, Marseille, 350 p.

Bouvier C., 2004. De la pluie à l'inondation : contribution à la compréhension et à la prévision des événements extrêmes sur petits bassins tropicaux et méditerranéens. HDR Université Montpellier 2, 82 pages et annexes

Brunet P., **Bouvier C.**, **Perrin J.L.**, Robain H., 2003. Suivi annuel des variations de l'humidité du sol à l'aide de sondages Schlumberger. 3^e colloque GEOFCAN, Bondy, 24-25 septembre 2003.

Doswell C.A., Brooks H.E., Maddox R.A., 1996. Flash Flood Forecasting: an Ingredients-Based Methodology, *Weather and Forecasting*, pp. 560-581.

Elbaz-Poulichet, F., Seidel J.L., Devez A., Van Exter S., Casellas C., Voltz M., Andrieux P., 2003. Dynamic and origin of trace elements in a Mediterranean river (la Peyne)-Relations to lithology, discharge, and agricultural practices. Proceedings of International Symposium on Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions, Montpellier 2003. IAHS Publication n°278, 410-416.

Gaume E., 2002. *Éléments d'analyse des crues éclair*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 359 p.

Gout J-P., 1993. *Prévention et gestion des risques majeurs. Les risques d'origine naturelle*, Les éditions de l'environnement, Ecosciences et technologies, Paris, 301 p.

Grosbois, C, Négrel, Ph., Fouillac, C., Grimaud, D. 2000. Dissolved Load of the Loire river: Chemical and isotopic characterization. *Chemical Geology*, 170, 179-201.

Guinot V., 2004. High resolution Godunov-type schemes with small stencils, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 44, pp. 1119-1162.

IAHS-UNESCO-WMO, 1974. *Flash floods, proceedings of the Paris symposium*, September 1974, Publication 112

- Marchandise A.**, Lequien A., **Brunet P.**, Crespy A., **Bouvier C.**, 2004. Distributed rainfall/runoff modelling of September 2002 flood in 2 southern France river basins. BALWOIS Conference, May 2004, Ohrid (Macedonia).
- MEDD – Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, (2003), *Les évènements naturels dommageables en France et dans le Monde en 2002*, Direction de la Prévention des pollutions et des risques, Sous-direction de la Prévention des risques majeurs, Cellule Retour d'expérience, République Française, Paris, 24 p.
- Montz B.E., Grunfest E., (2002), Flash flood mitigation: recommendations for research and applications, *Environmental Hazards*, 4, pp. 15-22.
- Moussa R.** (1991), *Variabilité spatio-temporelle et modélisation hydrologique. Application au bassin du Gardon d'Anduze*, Thèse de Doctorat, Université de Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier II, 259p.
- Moussa R.**, 2003. Modélisation hydrologique spatialisée des crues. Mémoire HDR de l'Université Montpellier 2, 66 pages et annexes
- Négre, Ph. et Pauwels, H., 2004. Interaction between different groundwaters in Brittany catchments (France) : characterizing multiple sources through strontium- and sulphur isotope tracing. *Water, Air, and Soil Pollution* 151: 261-285.
- Négre, Ph., **Petelet-Giraud, E.**, Doerfliger, N., Pointet, Th., Pennequin, D. 2003. Apport des traçages isotopiques à la compréhension des inondations : le cas de la Somme. *La Houille Blanche*, 6, 104-111.
- Négre, Ph. et **Petelet-Giraud, E.** 2004. Strontium isotope as tracers of groundwater-induced floods: the Somme case study (France). *Journal of Hydrology*. Sous presse.
- Négre, Ph. 1999. Geochemical study in a granitic area, the Margeride, France: chemical element behavior and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ constraints. *Aquatic Geochemistry*, 5, 125-165.
- Négre, Ph. et Lachassagne, P. 2000. Geochemistry of the Maroni River (French Guyana) during low water stage: Implications for water rock interaction and groundwater characteristics. *Journal of Hydrology*, 237, 212-233.
- Perrin J.L.**, **Bouvier J.C.**, **Janeau J.L.**, Ménez G., Cruz F., 2001, Rainfall-runoff processes in a small catchment in Andes mountains - The Rumihurcu Quebrada, Quito (Ecuador). *Hydrol. Proces.*, 15, 843-854
- Petelet, E.**, Luck, J.M., Ben Othman, D., Négre, Ph., Aquilina, L. 1998. Geochemistry and water dynamics on a medium sized watershed: the Hérault, S France. *Chemical Geology*, 150, 63-83.
- Petelet, E.**, Luck, J.M., Ben Othman, D., Négre, Ph. 1999. Water circulation in a karstified area: Sr, Pb constraints. In *Geochemistry of the Earth's Surface* (H. Armannsson Ed.), Balkema, Rotterdam. 119-122.
- Petelet-Giraud, E.**, Négre, Ph., Casanova, J. 2003a. Variability of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in water draining granite revealed after a double correction for atmospheric and anthropogenic inputs. *Hydrological Sciences Journal*, 48, 729-742.
- Petelet-Giraud, E.**, Luck, J.M., Ben Othman, D., Négre, Ph. 2003b. Dynamical scheme of water circulations in a karstic area as constrained by Sr and Pb isotopes. Application to the Hérault watershed (S. France). *Hydrogeology Journal*, 11(5), 560-573.
- Petelet-Giraud, E.** et Négre, Ph., 2004. Flood deconvolution in a Mediterranean catchment (Hérault, France) using major and trace elements and strontium isotopes. International Conference on River/Catchment Dynamics: Natural Processes and Human Impacts, Solsona (Catalonia, Spain), 15-20 May. In : *Conference Programme and Abstracts*, R.J. Batalla (eds.), p.55.
- Puech C.**, 2000. Utilisation de la télédétection et des Modèles Numériques de Terrain pour la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes. Mémoire HDR de l'Université Joseph Fourier Grenoble, 83 pages et annexes