



*document public*

**Contrat de plan Etat/Région Rhône-Alpes  
pour la recherche sur les risques naturels  
en montagne : étude de faisabilité d'un programme  
transversal "eau, facteur de risque" pour le  
contrat de plan 1994/1999**

---

Jean-Pierre Asté, Thierry Lafforgue, Eric Leroi

janvier 1994  
R 37905

numéro de référence R 04231019

**BRGM**  
**SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL**  
Département utilisation et protection  
de l'espace géologique  
BP 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 02 - FRANCE  
Tél.: (33) 38 64 34 34

## **RESUME**

**L'eau, sous toutes ses formes, et à travers de multiples modes d'action, est certainement le plus important des facteurs aggravants des phénomènes générateurs de risques en montagne,**

Les recherches sectorielles menées dans le cadre des programmes actuellement soutenus par le Contrat de Plan entre l'Etat et la Région Rhône-Alpes ont toutes, à des titres divers, une composante "eau".

Mais des points de vue différents créent une certaine dispersion des efforts, chaque équipe privilégiant naturellement la recherche d'une solution à un problème particulier. Il est donc nécessaire de fédérer ces efforts en amenant les divers acteurs à confronter leurs points de vue et en mettant au point des stratégies de recherche concertées qui permettent d'arriver rapidement à une meilleure connaissance du rôle et du mode d'action de l'eau, sous toutes ses formes, dans le déclenchement des phénomènes dangereux.

Le présent rapport rend compte des efforts déployés dans cette perspective par un groupe de travail réunissant quelques uns des représentants des diverses équipes impliquées dans les programmes de recherche soutenus par le Contrat de Plan entre 1989 et 1993. L'étude a été réalisée dans le cadre d'une double convention : la première entre l'Etat et le BRGM (convention n° 00087 du 9 janvier 1992) et la seconde entre la Région Rhône-Alpes et le BRGM. Cette dernière est imputée sur les crédits affectés à la ligne d'action "Programmes pluriannuels", chapitre 961.0, article 657 (n° d'opération M 07314.91.06).

Bien que tous les acteurs concernés par le programme "Eau Facteur de Risques" aient formulé leur propre vision des besoins scientifiques et exprimé une volonté de collaboration, il est resté très difficile de s'accorder sur une stratégie.

Aucune solution n'ayant, au terme de l'exercice, été trouvée à ces problèmes d'ordre structurel, il est proposé un certain nombre de constatations qui puissent servir à la formulation d'un système de référence (spécifications techniques) pour un futur appel de propositions dans le cadre du prochain Contrat de Plan.

## TABLE DES MATIERES

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MULTIPLICITE DES MODES DE CIRCULATION ET D'ACTION DE L'EAU .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Les divers modes d'écoulement de l'eau .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. La connaissance des mécanismes des phénomènes d'écoulement.....</b>	<b>3</b>
2.2.1. La connaissance des précipitations atmosphériques.....	4
2.2.2. La connaissance des états hydriques préalables de surface et sub-surface .....	4
2.2.3. La connaissance des systèmes superficiels d'écoulement.....	5
2.2.4. La connaissance du milieu non saturé.....	5
2.2.5. La connaissance du milieu saturé.....	6
<b>2.3. Le rôle déterminant de la morphologie de surface et de sub-surface.....</b>	<b>6</b>
<b>2.4. Les enjeux .....</b>	<b>7</b>
<b>2.5. Méthodologie pour l'acquisition, la validation, la structuration et la communication des connaissances.....</b>	<b>7</b>
<b>3. BILAN DES ACQUIS DU CONTRAT DE PLAN ETAT-REGION.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Bilan des acquis sur les conditions d'alimentation en eau .....</b>	<b>9</b>
3.1.1. Etude des courbes intensités-durées-fréquences de précipitation dans les Alpes.....	9
3.1.2. Observation des gradients d'intensité des pluies en zones à relief .....	11
<b>3.2. EVALUATION DES DEBITS DE CRUE.....</b>	<b>13</b>
3.2.1. Intérêt de la prévision de pluie pour la prévision de crue.....	13
3.2.2. Utilisation du radar météorologique pour les besoins hydrologiques d'une région de montagne.....	15
3.2.3. Débit de crue dans les petits bassins versants montagneux .....	17
<b>3.3. MORPHOLOGIE ET TRANSPORTS SOLIDES DANS LES COURS D'EAU.....</b>	<b>19</b>
3.3.1. Recherches sur les risques torrentiels dans le bassin expérimental du torrent de l'église, Les Arcs, Savoie.....	19
3.3.2. Simulation numérique de l'évolution morphologique des rivières de montagne au cours des crues .....	20
3.3.3. Etude de la granulométrie du lit des torrents .....	23
3.3.4. Etude des laves torrentielles.....	25

<b>4. ETAT DES BESOINS SCIENTIFIQUES SUR LE THEME EAU FACTEUR DE RISQUES.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1. Apports en eau .....</b>	<b>28</b>
4.1.1. Conditions météorologiques et précipitations.....	28
4.1.2. Morphologie du relief et précipitations.....	29
4.1.3. Végétation et précipitation.....	29
4.1.4. Détection radar des pluies .....	30
4.1.5. Conditions d'alimentation en eau par la fonte des neiges.....	31
<b>4.2. Répartition de l'eau entre infiltration et ruissellement.....</b>	<b>31</b>
4.2.1. Influence du manteau neigeux sur les propriétés du sol.....	31
4.2.2. Recherche du devenir des eaux de fonte de neige.....	31
4.2.3. Méthodologie de mesure du degré de saturation des couches superficielles.....	31
<b>4.3. Propagation des écoulements en surface .....</b>	<b>32</b>
4.3.1. Les ruissellements de versant.....	32
4.3.1.1. Influence de la nature du sol sur les modalités du ruissellement .....	32
4.3.1.2. Optimisation des techniques de modélisation d'écoulement en versant.....	32
4.3.2. Les écoulements torrentiels.....	32
4.3.2.1. Amélioration des modèles numériques sur l'évolution du torrent .....	33
4.3.2.2. Etude des lois de comportement des écoulements à risques.....	33
<b>4.4. Circulations souterraines de l'eau en montagne.....</b>	<b>33</b>
4.4.1. Les modes de circulation souterraine .....	33
4.4.1.1. Détermination de la géométrie de la zone saturée.....	33
4.4.1.2. Détermination des modalités d'écoulement de la zone non saturée.....	34
4.4.2. L'interaction eau-milieu et l'instabilité des pentes .....	34
<b>5. BILAN ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>35</b>
<b>5.1. Un besoin de fédérer des efforts dispersés .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2. Le constat des difficultés a construire un programme commun.....</b>	<b>35</b>
<b>5.3. Formulations d'idées directrices pour un futur appel à propositions de programmes de recherches concertés .....</b>	<b>36</b>
5.3.1. Un triple objectif.....	36
5.3.2. Un milieu commun qu'il faut aborder dans toute sa complexité.....	36
5.3.3. L'importance de la structuration, de la consolidation et de la mise à disposition des données pertinentes. ....	36
5.3.4. La notion de bassins-types et de représentativité spatiale.....	36
5.3.5. L'importance des observations et constats en retour .....	37
5.3.6. Vers de nouveaux moyens météorologiques.....	37
5.3.7. Une approche cognitive .....	38
5.3.8. La connaissance du milieu physique, en surface et en profondeur .....	38

5.3.9. Les techniques d'investigation sur le milieu non saturé, en surface et en profondeur.....	38
5.3.10. Les potentialités de retour à des caractéristiques régionalisées, à des fins opérationnelles.....	38
5.3.11. Réflexions juridiques et administratives sur la gestion des eaux de ruissellement.....	39
<b>ANNEXE.....</b>	<b>40</b>
<b>1. LES SUGGESTIONS INITIALES DU BRGM POUR LA STRUCTURATION D'UN PROGRAMME TRANSVERSAL.....</b>	<b>41</b>
1.1. Le programme évoqué.....	41
<b>2. REFLEXIONS PREALABLES DE LA DIVISION HYDROLOGIE-HYDRAULIQUE DU CEMAGREF DE LYON.....</b>	<b>43</b>
2.1. Quelques critères généraux que devrait satisfaire un tel programme :.....	43
2.2. Quelques thèmes transversaux paraissant faisables, inspirés de la problématique inondations.....	44
2.3. Montage du programme.....	46
<b>3. REFLEXIONS PRELIMINAIRES DE La DIVISION PROTECTION CONTRE LES EROSIONS DU CEMAGREF DE GRENOBLE (MAI 1991).....</b>	<b>47</b>
3.1. L'examen de quelques problèmes vus a partir de l'érosion et de l'hydraulique torrentielle.....	47
3.1.1. Pluviographie.....	47
3.1.2. Fonte de la neige :.....	47
3.1.3. L'eau superficielle sur les versants :.....	48
3.1.4. L'eau superficielle dans les biefs de torrent.....	48
3.2. L'examen de quelques thèmes transversaux a priori.....	48
3.2.1. Les modèles descriptifs des écoulements.....	48
3.2.2. Situations hydroclimatologiques à risques.....	49
3.2.3. Aspects prévisionnels.....	49
3.2.4. L'eau dans le sol.....	49
3.2.5. Modèles bi-dimensionnels.....	49
3.2.6. Demandes de protection.....	50
<b>4. INTERET ET POSSIBILITES DU CENTRE D'ETUDES DE LA NEIGE POUR LE PROJET.....</b>	<b>51</b>
<b>5. REFLEXIONS PREPARATOIRES DE LA DIVISION PROTECTION CONTRE LES EROSIONS DU CEMAGREF DE GRENOBLE POUR LA REUNION DU 6/7/92 A GRENOBLE.....</b>	<b>51</b>
5.1. Liaison entre les écoulements souterrains et superficiels.....	52

5.1.1. Points scientifiques .....	52
5.1.2. Questions ponctuelles d'ordre général .....	52
5.1.3. Questions transversales d'ordre général.....	52
5.1.4. Questions Instrumentales pour chaque point. ....	53
5.1.5. Questions Instrumentales "transversales":.....	53
<b>5.2. Neige et pluie.....</b>	<b>53</b>
<b>6. IDEES DIRECTRICES TIREES DE LA REUNION DU 06/07/92 PAR LA DIVISION PROTECTION CONTRE LES EROSIONS DU CEMAGREF DE GRENOBLE .....</b>	<b>54</b>
<b>7. QUELQUES ELEMENTS IMPORTANTS DE DISCUSSION DU GROUPE DE TRAVAIL .....</b>	<b>56</b>
7.1. Modes d'écoulement.....	56
7.2. Débits ou sous pressions.....	56
7.3. Bassins versants de recherche expérimentaux .....	57
7.4. Site unique ou communauté de besoins .....	57
7.5. Instrumentation.....	57
7.6. Echelle.....	58
7.7. Intérêt pédagogique .....	58

## **1. INTRODUCTION**

Dans les régions tempérées de l'hémisphère nord, et singulièrement dans le massif alpin français, les phénomènes naturels générateurs de dommages les plus courants sont les mouvements de terrain sous leurs formes multiples, les avalanches neigeuses, et les inondations, crues et laves torrentielles. Tous ces phénomènes résultent de la conjonction de facteurs prédisposants "permanents", déterminant leur localisation spatiale et de facteurs aggravants, transitoires, déterminant leur occurrence dans le temps et leur rythme.

L'eau, sous toutes ses formes, et à travers de multiples modes d'action, est certainement le **plus important de ces facteurs**, qu'elle agisse de façon permanente, comme **élément prédisposant**, ou transitoire, comme **élément aggravant**.

Les recherches sectorielles menées dans le cadre des programmes actuellement soutenus par le Contrat de Plan entre l'Etat et la Région Rhône-Alpes ont toutes, à des titres divers, une composante "eau".

Mais des points de vue différents créent une certaine dispersion des efforts, chaque équipe privilégiant naturellement la recherche d'une solution à un problème particulier. Il est donc nécessaire de fédérer ces efforts en amenant les divers acteurs à confronter leurs points de vue et en mettant au point des stratégies de recherche concertées qui permettent d'arriver rapidement à une meilleure connaissance du rôle et du mode d'action de l'eau, sous toutes ses formes, dans le déclenchement des phénomènes dangereux.

L'étude a été réalisée dans le cadre d'une double convention : la première entre l'Etat et le BRGM (convention n° 00087 du 9 janvier 1992) et la seconde entre la Région Rhône-Alpes et le BRGM. Cette dernière est imputée sur les crédits affectés à la ligne d'action "Programmes pluriannuels", chapitre 961.0, article 657 (n° d'opération M 07314.91.06).

Le présent rapport rend compte des efforts déployés dans cette perspective par un groupe de travail réunissant quelques uns des organismes impliqués dans les programmes de recherche soutenus par le Contrat de Plan entre 1989 et 1993, à savoir :

le **Bureau de Recherches Géologiques et Minières** qui a joué le rôle d'animateur et qui a par ailleurs coordonné les recherches menées sur le thème "Mouvements de terrains" dans le Contrat de plan,

l'**Association pour le Développement des Recherches sur les Glissements de Terrain**,

la **Division Protection contre les Erosions du Cemagref de Grenoble**

l'**Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble**

le **laboratoire des Transferts de l'Environnement de l'Université Joseph Fourier**

le **laboratoire Sols, Solides, Structures de l'Université Joseph Fourier**

le **Centre d'Etudes de la Neige de Météo-France**

le Cemagref de Lyon, Division Hydrologie-Hydraulique ont également participé à la première réunion du groupe de travail.

Le groupe s'est réuni cinq fois et a bénéficié, au printemps 1993, d'une conférence du professeur Ian.D.Moore, du Centre for Resource and Environmental Studies de l'Université Nationale d'Australie, de Canberra.

Le rapport présenté ci-dessous est articulé en la présente introduction et quatre parties dont une conclusion en forme de bilan et perspectives et une annexe regroupant des textes originaux correspondant à des contributions spécifiques des divers participants et qu'il a paru intéressant de reproduire intégralement.

- la première partie, "**Multiplicité des modes de circulation et d'action de l'eau**", reprend de larges extraits d'un texte proposé fin 1991 par le BRGM, mais revu et amendé par les divers intervenants.
- la deuxième partie propose un **bilan des acquis, mi 1993**, des divers programmes soutenus par le Contrat de Plan.
- la troisième partie dresse un **état des besoins** en matière de recherche,
- la quatrième partie présente un **bilan et des perspectives de programme**.

Le groupe s'est réuni cinq fois et a bénéficié, au printemps 1993, d'une conférence du professeur Ian.D.Moore, du **Centre for Resource and Environmental Studies** de l'**Université Nationale d'Australie**, de Canberra.

Le rapport présenté ci-dessous est articulé en la présente introduction et quatre parties dont une conclusion en forme de bilan et perspectives et une annexe regroupant des textes originaux correspondant à des contributions spécifiques des divers participants et qu'il a paru intéressant de reproduire intégralement.

- la première partie, "**Multiplicité des modes de circulation et d'action de l'eau**", reprend de larges extraits d'un texte proposé fin 1991 par le BRGM, mais revu et amendé par les divers intervenants.
- la deuxième partie propose un **bilan des acquis, mi 1993**, des divers programmes soutenus par le Contrat de Plan.
- la troisième partie dresse un **état des besoins** en matière de recherche,
- la quatrième partie présente un **bilan et des perspectives de programme**.

## **2. MULTIPLICITE DES MODES DE CIRCULATION ET D'ACTION DE L'EAU**

### **2.1. LES DIVERS MODES D'ECOULEMENT DE L'EAU**

On distingue trois principaux modes de circulation de l'eau en surface et subsurface de la terre :

- une **circulation superficielle**, diffuse au niveau du ruissellement, ou concentrée dans des cheneaux. La première influencera la dégradation des sols par érosion et alimentera le débit, aussi bien solide que liquide, des rivières. La seconde provoquera la formation de crues, facilitera le transport solide. Les deux perturberont l'équilibre hydraulique pré-existant dans les horizons sous-jacents.
- une **circulation intermédiaire** en zone non saturée. Elle provoquera des modifications lentes et difficilement contrôlables de l'équilibre hydraulique et mécanique des couches superficielles, principalement sur les versants.
- une **circulation profonde** en zone saturée. Elle modifiera le champ interne des sous-pressions, se traduira par des forces d'écoulement et réalimentera aussi, dans certaines conditions, le débit des cours d'eau superficiels.

### **2.2. LA CONNAISSANCE DES MECANISMES DES PHENOMENES D'ECOULEMENT**

Ces phénomènes sont régis par :

- des lois générales de la mécanique des fluides,
- des conditions aux limites hydrauliques, mécaniques et géométriques, et particulièrement de la répartition dans l'espace et dans le temps des précipitations atmosphériques,
- des conditions particulières au milieu dans ou sur lequel se fait l'écoulement.

Or :

- la connaissance du milieu n'est le plus souvent que très approximative, notamment au niveau du sous-sol,
- les conditions d'alimentation par la pluie restent trop mal définies.

Divers modèles existent aujourd'hui pour simuler les principaux types d'écoulement. Ils sont à des niveaux de performance inégaux, mais restent globalement insatisfaisants.

### **2.2.1. La connaissance des précipitations atmosphériques**

La répartition des quantités d'eau qui arrivent à la surface du sol et qui sont susceptibles de s'y écouler ou de s'y infiltrer ne peut être connue que par des observations et mesures harmonieusement réparties dans l'espace et dans le temps et interprétées.

A des échelles régionales, cette répartition est à peu près bien connue, dès lors qu'existe un réseau de mesure suffisamment dense et établi depuis assez longtemps. Divers modes, essentiellement probabilistes, de traitement des données, permettent de définir en un endroit donné un régime prévisible de pluviométrie (intensité, durée, fréquence).

A des échelles locales, il n'en est plus de même, et particulièrement en montagne, où le relief limite de façon drastique la pertinence des méthodes d'interpolation.

Il faut donc s'efforcer de développer des méthodes d'évaluation de l'influence de la morphologie sur les précipitations. Des efforts sont déjà engagés dans les programmes en cours. Ils portent essentiellement sur des échelles régionales et des tendances générales. On verra plus loin que des observations localisées et intégrées, à l'échelle de bassins, pourraient utilement compléter ces travaux en cours.

En ce qui concerne la neige, le problème est à la fois plus complexe et plus simple. Plus simple parce que le manteau neigeux est rémanent et que l'on peut éventuellement apprécier son épaisseur, sa répartition et son évolution par des techniques diverses. Plus complexe parce que le processus de fonte de la neige et de circulation des eaux de ruissellement ou d'infiltration libérées est très mal maîtrisé. Par ailleurs, cette fonte et les rythmes thermiques et mécaniques qui l'accompagnent ont une influence certaine, mais encore mal connue, sur la pédogenèse, et sur leur capacité future de mobilisation par érosion.

On se heurte, aussi bien en ce qui concerne la pluie que la neige, à un problème d'échelle d'observation.

Pour apprécier la répartition détaillée des précipitations, il faudrait multiplier au sol les systèmes de mesure, et cela devient très vite prohibitif au niveau du coût.

Mais on peut aussi imaginer, par le biais de certains traitements d'images aériennes ou spatiales, approcher la répartition de l'humidité superficielle après la pluie, ou l'épaisseur du dépôt neigeux après la neige, et rattacher cette information à certaines stations de mesure au sol, implantées en fonction d'un certain nombre de critères morphologiques ou pédologiques par exemple. De telles méthodes devraient pouvoir permettre de réels progrès à l'échelle de bassins versants de quelques km<sup>2</sup>. On y reviendra ci-dessous.

### **2.2.2. La connaissance des états hydriques préalables de surface et sub-surface**

L'état préalable de saturation des couches superficielles est un élément déterminant de la répartition entre ruissellement et infiltration. Il est largement conditionné par la couverture végétale et l'exposition, par la nature des sols, facteurs essentiels de l'évapo-transpiration.

Pour comprendre, et donc modéliser tout ce qui se passe à la limite air-sol, il est essentiel de connaître cet état ... et c'est extrêmement difficile, car les propriétés du milieu récepteur (sol) varient dans des proportions importantes, surtout sur les versants.

C'est en raison de cette difficulté que les modèles existants sont presque tous monodimensionnels, ayant été développés essentiellement pour l'hydrogéologie classique de plaine.

Là encore, et on pressent que cela doit se faire suivant les mêmes approches que précédemment, il importe de mettre au point de nouvelles méthodes d'évaluation ou de mesure de l'état hydrique ou degré de saturation des couches superficielles et de son évolution dans le temps.

### **2.2.3. La connaissance des systèmes superficiels d'écoulement**

D'une façon générale, les lois de l'hydraulique et les modèles sont bien maîtrisés pour ce qui concerne l'écoulement liquide en chenaux en régime quasi-permanents, pour autant que la géométrie de ceux-ci est bien connue.

Il n'en est pas de même pour ce qui est du ruissellement diffus et pour les écoulements concentrés éphémères ou temporaires.

La question se complique encore lorsque le fluide devient bi ou multiphasique (coulées de boue, laves, avalanches). Aux problèmes strictement rhéologiques vient s'ajouter la difficulté de mesurer les débits solides ou les paramètres dynamiques.

Il importe donc de multiplier observations et mesures sur des sites suffisamment caractérisés et représentatifs.

### **2.2.4. La connaissance du milieu non saturé**

De nombreux efforts sont actuellement en cours pour caractériser les modes de propagation de l'eau dans ce milieu. Ils ont été soutenus en premier lieu par le besoin de contrôler la propagation des pollutions vers les nappes ou la recharge des nappes. Ils ont donc d'abord été abordés monodimensionnellement, pour des zones sans relief.

En montagne, de telles approches ne suffisent pas. Il existe toujours des composantes transversales aux écoulements, en raison notamment de l'hétérogénéité et de l'anisotropie des couches qui constituent le milieu non saturé.

Or, ce milieu peut réagir dans certains cas, vis-à-vis des problèmes de stabilité des versants, comme une capacité.

Aussi longtemps qu'il reste effectivement non saturé, les conditions de son équilibre mécanique ne varient que fort peu. Mais à l'instant précis où on arrive à saturation, le champ des pressions interstitielles peut être perturbé transitoirement et rapidement et cela peut provoquer des ruptures.

Il est évidemment bien difficile de caractériser continûment le milieu non saturé. On retrouve les difficultés déjà évoquées en surface avec, en plus, la complexité des formes de dépôt sur les pentes. Aux méthodes et techniques difficilement maîtrisées par les pédologues et les agronomes dans les premiers décimètres, il faut trouver des prolongements sur toute l'épaisseur des formations superficielles.

### **2.2.5. La connaissance du milieu saturé**

Si elle est satisfaisante en zone de bassin sédimentaire où le relief des surfaces séparant les diverses couches est fort peu accentué, elle est beaucoup moins développée en montagne. Peut-on réellement parler de nappes de versant ? Cela a-t-il une réalité physique, dès lors que le mur de la nappe a une pente forte ? Ne faut-il pas plutôt privilégier la notion d'écoulement laminaire lent sur une frontière imperméable et celle de poches saturées avec ou sans génération d'écoulements localisés dans la pente ?

## **2.3. LE ROLE DETERMINANT DE LA MORPHOLOGIE DE SURFACE ET DE SUB-SURFACE**

La surface topographique a, dans la circulation globale de l'eau, et singulièrement en montagne, un rôle essentiel. La géométrie de surface ne peut se décrire que par une approche tridimensionnelle.

Les techniques mobilisables aujourd'hui pour de telles descriptions (modèles numériques de terrain) permettent un réel progrès dans l'acquisition et la gestion des données, mais répondent mal aux besoins des modèles hydrauliques. Elles résident le plus souvent en un maillage régulier, dont l'élément de base, le pixel est caractérisé par ses dimensions  $D_x$ ,  $D_y$  et auquel on affecte une valeur d'altitude (2). La représentativité des modèles bâtis sur ces approches dépend largement, notamment en ce qui concerne les écoulements, de la dimension ( $D_x$ ,  $D_y$ ) des pavés élémentaires.

Beaucoup d'essais faits avec des modèles à maille hectométrique ou kilométrique ont été décevants : on comprend bien qu'ils ne peuvent rendre compte de façon réaliste de la circulation et des concentrations en surface d'eaux de ruissellement. Et la situation est évidemment plus complexe pour la circulation de l'eau en profondeur.

La représentativité des modèles s'améliore évidemment lorsque la maille reste infra-décamétrique à infra-métrique ... mais c'est au prix de MNT beaucoup plus coûteux.

Par ailleurs, le traitement des écoulements de surface (ruissellement) peut encore être amélioré par des modèles s'affranchissant du traitement par mailles régulières et s'appuyant plutôt sur les lignes de courant déterminées par la topographie (Moore et O'Loughlin).

Grâce à de telles approches, il paraît possible de mieux appréhender la répartition tridimensionnelle du ruissellement et sa concentration dans certaines zones, améliorant ainsi le couplage entre ruissellement diffus et ruissellement concentré.

De la même façon, et sous réserve d'acquérir assez d'informations sur la nature, l'état hydrique et la géométrie des diverses couches du sous-sol, et particulièrement des couches superficielles, il paraît possible de mieux évaluer l'infiltration et sa répartition, donc la modification du stock d'eau dans le sol et leurs fluctuations. Des systèmes existent déjà pour gérer cette information relative à la nature et aux caractéristiques des couches superficielles et pour intégrer de nouvelles connaissances (sondages, essais) ou hypothèses lorsqu'elles sont acquises ou formulées.

**La complexité liée à la tridimensionnalité des objets étudiés n'est donc plus un obstacle majeur à la mise en oeuvre de nouveaux modèles. Elle est au contraire la clé d'un réel progrès des connaissances.**

## **2.4. LES ENJEUX**

Améliorer la maîtrise de la répartition des ruissellements et infiltrations en fonction de la topographie d'un bassin versant en montagne n'est pas seulement un exercice intellectuel propre à satisfaire la curiosité scientifique.

**C'est surtout la clé de l'économie et de l'efficacité de la prévention des risques naturels en montagne.**

**Efficacité**, pour les raisons déjà exposées : les phénomènes naturels susceptibles de générer des dommages ont des localisations bien particulières. Si leurs déterminations ne sont pas encore bien maîtrisées, on sait en revanche qu'elles dépendent largement de l'eau en surface et en sub-surface.

Améliorer la localisation spatiale des phénomènes est donc un objectif majeur : **cela permet de concentrer les efforts de prévention**, soit par une bonne planification préventive, soit par des travaux palliatifs (drainage, confortement) ou de réhabilitation, **sur des objectifs géographiques limités et précis**, ce qui n'est pas toujours le cas actuellement.

**Efficacité encore et économie** parce que ces phénomènes latents ne se déclenchent que sous l'influence de facteurs aggravants exceptionnels : des pluies dépassant certains seuils en intensité, durée et fréquence. On peut donc espérer mettre au point des **stratégies impliquant des mesures particulières (vigilance, évacuation provisoire) seulement à l'approche de telles séquences pluvieuses, c'est-à-dire limitées dans le temps**, à l'exemple de ce qui se fait en matière d'alerte cyclonique en zone tropicale.

## **2.5. METHODOLOGIE POUR L'ACQUISITION, LA VALIDATION, LA STRUCTURATION ET LA COMMUNICATION DES CONNAISSANCES**

On vient de souligner la nature particulièrement complexe des divers modes de circulation des eaux en montagne. En deçà des difficultés liées à cette complexité, une large partie de l'impuissance où se trouvent les divers acteurs, scientifiques ou décideurs, de la prévention, vient de ce que les connaissances et informations à gérer pour tenter de vaincre ces difficultés sont elles-mêmes de nature, de structure et de fiabilité très diverses. De plus, elles appartiennent à des disciplines scientifiques très dispersées. Enfin, les acteurs eux-mêmes, depuis les populations concernées jusqu'aux décideurs, en passant par l'administration, les collectivités, les opérateurs scientifiques ou techniques, n'ont que très rarement l'occasion de se concerter sur des stratégies de prévention construites en commun pour répondre aux aspirations des uns et aux besoins des autres.

Il y a donc une véritable stratégie de préparation à la prévention à mettre en oeuvre, et, au premier rang de cette stratégie, la nécessité de développer des méthodologies fiables pour l'acquisition, la validation, la structuration et la communication des connaissances et de l'information.

### 3. BILAN DES ACQUIS DU CONTRAT DE PLAN ETAT-REGION

Les études menées dans le cadre du contrat de plan Etat-Région Rhône-Alpes 1989-1994 ont permis de faire progresser les connaissances sur les phénomènes générateurs de risques naturels en montagne. Parmi ces recherches, celles ayant traité du rôle de l'eau seront présentées brièvement à partir d'extraits des rapports de synthèse fournis par les équipes responsables des recherches.

Ces extraits seront imprimés en italique et leurs origines rappelées.

Les programmes ont été regroupés en quatre sous-ensembles :

- connaissance de la répartition spatio-temporelle des précipitations,
- évaluation des débits de crues,
- morphologie et transports solides dans les cours d'eau,

Ces regroupements sont artificiels : ils correspondent plus à la nécessité de présenter les acquis qu'à la logique de structuration des connaissances présentée en 2.5. ci-dessus. Le tableau suivant permet de rapprocher les deux démarches.

Structuration des connaissances (voir 2.5. ci-dessus)	Regroupement des résultats acquis mi-1993
- connaissance des précipitations atmosphériques	- connaissance de la répartition spatio-temporelle des précipitations
- connaissance des états hydriques préalables de surface et de sub-surface	
- connaissance des phénomènes superficiels d'écoulement	- morphologie et transports solides dans les cours d'eau, - évaluation des débits de crues
- connaissance du milieu non saturé et du milieu saturé	

On voit que deux des rubriques évoquées auparavant n'ont pas été couvertes par des programmes de recherche.

Chaque extrait est accompagné d'un court commentaire qui a été soumis à tous les membres du groupe avant publication du rapport final.

### 3.1. BILAN DES ACQUIS SUR LES CONDITIONS D'ALIMENTATION EN EAU

Les efforts pour améliorer les capacités de prévision sur les conditions d'alimentation en eau ont été dirigés sur deux objectifs :

- augmenter les connaissances sur les modalités des régimes des pluies.
- développer des moyens de surveillance automatique des fortes pluies.

#### 3.1.1. Etude des courbes intensités-durées-fréquences de précipitation dans les Alpes

Une première étude a été consacrée à l'établissement de courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) des précipitations de 1 à 24 heures dans les Alpes et le Jura.

Extraits du rapport EDF/DTG 1993  
"Etude des courbes intensité-durée-fréquences de précipitations dans les Alpes"

*"Les précipitations extrêmes de courtes durées sont en effet la cause principale des crues brutales et catastrophiques qui peuvent se produire sur bon nombre de petits bassins versants du Massif Alpin Français. Elles jouent également un rôle très significatif dans le déclenchement des laves torrentielles et peuvent aussi, enfin, être à l'origine d'autres phénomènes dangereux, notamment en hiver, lorsqu'elles accompagnent des chutes de neige exceptionnelles.*

*L'étude proposée consistait à déterminer, avec précision, les intensités de précipitation de durée de retour 10, 50, 100, 200, et 500 ans pour des durées respectives de 1h, 2h, 3h, 6h, 12h, et 24h en s'appuyant sur les données historiques disponibles et en veillant à assurer aux résultats le maximum de cohérence spatiale possible.*

*Cette étude, importante par le travail qu'elle représentait et par l'intérêt qu'elle suscitait, a été lancée dans le cadre d'une action conjointe liant EDF-DTG et le CEMAGREF : EDF apportait un capital de données très important sous forme d'enregistrements pluviographiques non encore dépouillés, le CEMAGREF se chargeant, quant à lui, de récupérer, auprès d'autres organismes producteurs (METEO-FRANCE, SRAE), les quelques chroniques pluviographiques complémentaires existantes.*

*L'essentiel des données utilisées pour cette étude était constituées par les enregistrements des pluviographes installés par EDF-DTG depuis suffisamment longtemps pour être jugés climatologiquement représentatifs : au total 58 points de mesures répartis dans le Jura (8 capteurs), les Alpes du Nord (15 capteurs) et les Alpes du Sud (36 capteurs) soit 1706 Années-Stations de durée moyenne comprise, pour la plupart, entre 30 et 35 ans et pouvant atteindre, pour certaines séries plus anciennes, près de 40 ans.*

*Ces données furent complétées par un certain nombre de chroniques historiques provenant du SRAE Rhône-Alpes (9 points de mesure), du SRAE Provence Côte-d'Azur (5 stations) et de METEO-FRANCE (3 stations). A l'exception de la série de BOURG ST MAURICE qui totalisait 30 années de données, ces séries étaient, dans l'ensemble, de durée plus réduite (15 ans en moyenne); certaines ne comptant même que 7 à 10 ans de données. Au total, ces données complémentaires, qui furent toutes récupérées par le CEMAGREF, représentaient 402 Années-Stations.*

*Le dépouillement de cet énorme ensemble de données a été assuré conjointement par EDF et par le CEMAGREF. EDF a effectué le dépouillement de ses propres enregistrements, le CEMAGREF assurant, de son côté, celui des enregistrements provenant des autres organismes.*

*Le traitement de l'ensemble de ces chroniques a demandé le développement d'une chaîne de programmes adaptés et nécessité des réflexions appropriées car le traitement, en cohérence spatiale, de séries pluviographiques non homogènes et l'extrapolation, vers les valeurs extrêmes, des lois de distribution des précipitations de faibles pas de temps, n'était pas sans poser de réelles difficultés méthodologiques. Ce travail a été effectué par la DTG.*

*La méthodologie utilisée s'est appuyé sur l'hypothèse de décroissance limite exceptionnelle de la distribution des précipitations en un laps de temps fixé, pour un lieu et une saison donnés.*

*La première étape a consisté à représenter graphiquement la distribution empirique des valeurs maximales enregistrées chaque années pour chaque pas de temps étudié. Chacune de ces distributions est ensuite approchée par un ajustement de Gumbel que l'on peut considérer comme très robuste, statistiquement, jusqu'à une durée de retour de 5 à 20 ans.*

*Ces ajustements sont ensuite extrapolés, au delà de cette durée de retour, selon les gradex calculés d'après la distribution des valeurs maximales hebdomadaires de la saison à plus fort risque. Cette saison varie en fonction du lieu et du pas de temps. En 1h, les mois d'été fournissent les plus forts gradex (risque orageux), alors qu'en 24h les plus fortes valeurs sont observées entre l'automne et l'hiver suivant les bassins.*

*Les valeurs estimées sont soumises à une incertitude liée à l'échantillon disponible. Cette dispersion d'échantillonnage croît avec la durée de retour. Afin de la limiter, les évaluations obtenues indépendamment les unes des autres ont été lissées en fonction de celles faites pour les pas de temps voisins pour les stations environnantes.*

*Un programme complémentaire a assuré la mise en forme définitive des résultats précédents. Il a fourni en sortie pour chacun des pas de temps 1h, 2h, 3h, 6h, 12h, 24h et pour des durées de retour allant de 2 à 1000 ans les précipitations totales ainsi que les intensités moyennes horaires correspondantes.*

*Les résultats complets sont disponibles, pour d'éventuelles analyses complémentaires, sous forme de tableaux, de courbes ou de fichiers de type Intensité-Durée-Fréquence.*

*Ils permettent, entre autre, de fournir des valeurs de pluies extrêmes adaptées à l'hydrologie des petits bassins versants de montagne".*

Ce travail long et quelque peu fastidieux mené par EDF et le CEMAGREF a conduit à des résultats d'un grand intérêt. Les courbes IDF obtenues constituent des données de base indispensables pour les études de risques naturels en montagne.

Le travail étant achevé les besoins résiduels concernent surtout la mise en forme des résultats et le prolongement vers d'autres études :

- présentation et divulgation des résultats sous forme d'un ouvrage de référence avec représentation en tableaux, courbes et cartes
- passage à d'autres recherches s'appuyant sur ces résultats comme l'étude de la variabilité spatiale des régimes de pluie, ou de l'évolution des pluies avec le relief.

### 3.1.2. Observation des gradients d'intensité des pluies en zones à relief

Ce programme de recherche mené par le CEMAGREF avait pour thème l'observation et l'analyse des variations dans l'intensité pluvieuse avec l'altitude en région de montagne.

Extraits du rapport CEMAGREF 1993  
"Gradients d'intensités de pluie en zones à relief : expérimentations et premières modélisations des données d'un réseau rhônalpin, le TPG"

*"Une telle estimation a été faite en fonction des quantiles de pluie en pied de pente (réputés connus : mesure pluviographique ou régionalisation), de paramètres caractérisant les conditions météorologiques (d'échelle synoptique et d'échelle aérologique) et du paysage (altitude lissée, distance à la mer, distance à la crête la plus proche ...).*

*Cette étude est une analyse exploratoire des outils susceptibles d'être utilisés lors de la construction ultérieure du modèle. Elle repose sur les données d'un réseau unidirectionnel préalpin d'altitude (le TPG) qui traverse, perpendiculairement aux principales lignes de crêtes, les massifs du Bas-Dauphiné, de la Chartreuse et de Belledonne.*

*En approche événementielle, sur cette succession de chaînes, les champs pluvieux, par perturbation, évoluent globalement soit dans le même sens que le relief (85% des événements pour lesquels la pluie est croissante avec l'altitude), soit dans un sens contraire (15% des événements pour lesquels la pluie est décroissante avec l'altitude). Ces deux grandes classes, ainsi que leurs sous-classes, n'ont pu être, d'une part, directement reliées à ces types de temps d'échelle synoptique et, d'autre part, caractérisées par des données du radiosondage de Lyon pour le réseau.*

*C'est pourquoi la pluie d'altitude a été estimée, pour une perturbation-type, à partir de la pluie en pied de pente et du seul relief (modèle corrélatif classique sous certaines hypothèses). En complément, une analyse fine du "transfert" des hyétogrammes de pluie de la plaine ou de la vallée vers les zones d'altitude, pour deux perturbations-types (perturbations choisies proches des pluies-unitaires, spatiotemporellement structurées, généralisées sur le TPG et ayant engendré des abatements pluvieux relativement importants), par une méthode de déconvolution (recherche d'une fonction de transfert et d'une fonction de production simples) a été faite ; elle a confirmé l'extrême complexité du phénomène "pluie" aux très petits pas de temps.*

*D'un point de vue plus global, en dépit du faible nombre d'observation disponibles, les pluies quinquennales d'altitude ont été sommairement modélisées grâce à un filtrage renouvellement/pseudo-loi de Montana, moyennant certaines hypothèses de base.*

*Les résultats sont significativement liés au relief, mais les moyens de transfert vers d'autres sites restent très modestes. En outre, même pour des périodes de retour ordinaires, il existe une grande incertitude sur l'estimation des quantiles.*

*Enfin, et un peu en marge de l'objectif finalisé de ce travail, des analyses d'abord fractales, puis multifractales, des chroniques de pluie en chacun des pluviographes ont été faites, pour des fichiers au pas de temps du quart d'heure.*

*Elles ont, d'une part, mis en évidence l'importance des pluies spatiotemporellement structurées qui, hydrologiquement parlant, et peut-être mêlées à des perturbations d'origine locale (effets seeder-feeder, blocage de fronts,...), sont celles qui risquent de provoquer des inondations (elles sont structurantes vis à vis de l'hydrologie des crues). Les pluies localisées (pluies issues de fronts stationnaires secondaires, de marais barométriques par exemple) semblent donc secondaires.*

*D'autre part, elles ont révélé l'indépendance d'échelle, sur une plage temporelle déterminée (1/4 d'heure à quelques semaines), de certains paramètres statistiques liés à ces chroniques. Ces paramètres sont par ailleurs et curieusement homogènes dans l'espace étudié.*

*En résumé, les recherches menées sur le TPG jusqu'à aujourd'hui :*

*- confortent l'intérêt prioritaire des analyses régionales à faire pour améliorer les connaissances sur les lois des pluies locales (à moyenne échelle) ;*

*- justifient que lorsque l'objectif est très sommaire ou pour une première approximation, il peut-être suffisant d'appliquer aux versants et sommets les quantiles observés en vallées pour des pas de temps faibles de quelques heures ;*

*- commencent à fournir des outils de correction des connaissances des intensités en vallée pour les transférer en pied de versant, sur les versants et en altitude ;*

*- confirment la forte structuration des pluies avec l'altitude et l'exposition pour de petits pas de temps à l'échelle événementielle. Il semble donc que les pluies d'altitude pourraient être prévues à partir des pluies de plaine sous réserve de construire un modèle opérationnel en temps réel."*

Dans le domaine de la prévision des pluies en altitude beaucoup reste encore à faire. L'étude réalisée par le CEMAGREF le long du transect TPG permet de constater la complexité du problème et les difficultés rencontrées pour corréler l'évolution des pluies en altitude et les caractéristiques des perturbations.

L'influence déterminante des formes locales du relief sur les modalités des pluies en altitude, a été démontrée lors de l'étude entreprise par METEO-FRANCE dans le cadre de son programme AURHELY. Cette influence des conditions topographiques locales est certainement pour beaucoup dans les difficultés rencontrées pour transférer vers d'autres sites les fonctions pluie/altitude observées sur le long du transect TPG.

La prévision des pluies en altitude constitue un objectif du plus grand intérêt mais reste encore assez éloigné des moyens actuels. Dans la suite de l'étude entreprise par le CEMAGREF on pourrait envisager une :

- prolongation du transect à travers les Alpes jusqu'en Italie
- assistance radar permettant la caractérisation par radiosondage des perturbations passant sur le transect.

## 3.2. EVALUATION DES DEBITS DE CRUE

### 3.2.1. Intérêt de la prévision de pluie pour la prévision de crue

Extraits du rapport RHEA 1992  
"Intérêt de la prévision de pluie pour la  
prévision de crue : application aux  
affluents de la Loire supérieure"

*"Ayant connaissance de l'absence d'utilisation de la prévision de pluies pour la prévision des crues-éclair naturelles et de l'importance de ces crues sur la Loire supérieure et ses affluents, ou sur d'autres cours d'eau, le Conseil Régional Rhône-Alpes a encouragé l'étude de l'application dans le Sud-Est des techniques de prévision de pluies à très court terme (une heure au plus) par la méthode SCOUT, fondée sur les images radar des pluies, et qui se sont montrées utiles dans la prévision de crues-éclair en milieu urbain de la Région Parisienne.*

*Ce projet de recherche, conduit par la société RHEA et le LCPC, ne visait pas l'application réelle à un ou plusieurs bassins versants, mais cherchait à mettre au point la méthodologie d'étude qui sera appliquée pour montrer qu'un bassin versant donné avec un radar donné peut bénéficier de la prévision de pluie.*

*Le projet a été divisé en six étapes :*

- présentation de la méthode SCOUT de prévision de pluie utilisée en hydrologie urbaine par RHEA*
- synthèse bibliographique des facteurs d'influence sur la qualité d'une prévision de pluie par SCOUT*
- rappel des besoins en prévision des crues du département de la Loire*
- description de la méthodologie d'étude de l'intérêt de SCOUT pour la prévision de crue*
- étude de la fiabilité de SCOUT dans la prévision de pluies du Sud-Est sélectionnées*
- démonstration visuelle de l'intérêt de la prévision de pluies sélectionnées pour la prévision de crues : réalisation d'une maquette de visualisation.*

*Cette dernière incite à penser que l'utilisation des images radar de pluie, en plus d'apporter des informations quantitatives sur le phénomène pluvieux étudié, renseigne sur tout un ensemble d'indications qualitatives (forme de la pluie, répartition spatiale, déplacement,...). Ces renseignements permettent d'asseoir la décision beaucoup plus rapidement.*

*Compte tenu des projets de recherche menés par l'IMG, tant au niveau de la modélisation hydrologique de bassin versant en zone de montagne (modèle pluie-débit) (C. OBLED), qu'au niveau de l'étude de la qualité des images radar en zone de montagne et de leurs traitements spécifiques (D. CREUTIN), ce projet complémentaire se situe en aval en examinant les besoins en précision sur la lame d'eau et les gains que peut apporter une prévision de pluie pour une annonce des crues efficiente.*

*Les deux principales hypothèses adoptées et qui sous-tendent les deux projets ci-dessus décrits, sont les suivantes :*

*-il existe un modèle mathématique représentant de façon satisfaisante le comportement du bassin versant.*

*-les données issues du radar hydrologique sont correctes, c'est à dire qu'elles ont subi un traitement spécifique pour que chaque pixel représente effectivement l'intensité de la pluie.*

*Avec ces hypothèses, a été simulé l'effet d'une seule pluie soigneusement sélectionnée sur un bassin versant ayant un temps de réponse court, représentatif des petits bassins versants des affluents de la Loire et de bien d'autres encore et surtout placé à proximité immédiate de la zone de création des orages (ce qui est au détriment de la méthode).*

*Il s'est avéré que la méthode d'alerte automatique élaborée n'entraîne aucune fausse alerte, mais ne permet pas d'accroître le délai de déclenchement de l'alerte.*

*Cette insuffisance est due à la principale hypothèse utilisée dans SCOUT. Elle consiste à extrapoler linéairement le déplacement des cellules pluvieuses, leur création au voisinage du site à risques est donc indétectable. En revanche, la méthode SCOUT de prévision permet de percevoir clairement l'instant où le danger est passé (la décrue).*

*La recherche entreprise a permis de mettre au point une maquette de démonstration, permettant d'identifier les pertes d'amélioration de la prévision de pluie.*

*Elle a permis d'orienter vers de nouvelles voies la méthode de prévision de pluie mise au point en région parisienne pour l'adapter aux situations de pluie observées dans le Sud-Est :*

*-détermination des zones de création d'orages*

*-déclenchement d'alerte sur les sites situés à proximité de ces zones*

*-accroissement de l'horizon de prévision compte tenu de la stabilité des situations observées.*

*Elle permet aussi d'orienter le mode de déclenchement d'alerte vers l'utilisation de prévision récurrentes."*

La méthode SCOUT de prévision des pluies à partir d'extrapolations sur le comportement des cellules orageuses, développée initialement pour la région parisienne est testée dans le département de la Loire.

Il s'agit d'une étude très appliquée. Un système du même type fonctionne depuis plusieurs années en Vénétie.

### 3.2.2. Utilisation du radar météorologique pour les besoins hydrologiques d'une région de montagne

Outre le contrat de plan Etat-Région Rhône-Alpes, le SRETIE du Ministère de l'Environnement, le CNRS et le Programme Climatologie de la CEE ont apporté leur concours financier à ce projet conduit par le LTHE et le LCPC, avec l'aide du LAMP de Clermont-Ferrand.

Extraits du rapport LTHE 1993  
"Utilisation du radar météorologique  
pour les besoins hydrologiques d'une  
région de montagne"

*"L'objectif de cette étude était d'identifier les méthodes permettant l'utilisation du radar météorologique en montagne à des fins hydrologiques et de les valider.*

*Pour atteindre cet objectif trois étapes ont été nécessaires .*

*A - Réalisation d'une expérience pour laquelle le site d'implantation et le protocole d'exploitation du radar soient adaptés à une zone montagneuse choisie. Cette expérience a été menée dans les Cévennes entre 1986 et 1988.*

*Pendant ces trois années le radar Anatol du LAMP de Clermont-Ferrand a été installé pendant les mois d'automne sur la corniche des Cévennes. Depuis son point d'implantation il donnait une couverture complète des bassins de la Cèze, des Gardons et du Vidourle, c'est à dire de l'ensemble du département du Gard.*

*Au cours de cette campagne de mesures, quatre épisodes pluvieux significatifs ont été suivis correspondant à des situations météorologiques dites cévenoles (perturbations d'échelle synoptique dont le blocage au niveau de la région permet une forte alimentation en air chaud et humide venant du sud et entraînant des précipitations intenses, durables et largement réparties).*

*B - Mise au point des méthodes d'analyse du signal radar permettant de passer de la puissance rétrodiffusée par l'atmosphère à l'intensité de pluie correspondante.*

*L'objectif étant de qualifier le radar pour les applications opérationnelles à l'hydrologie de montagne il s'agissait en particulier d'éviter le recours aux mesures pluviométriques sol qui constituent classiquement le moyen privilégié d'étalonnage pour les applications hydrologiques mais qui, dans la pratique opérationnelle, complique singulièrement les systèmes et donc les fragilise.*

*L'ensemble des caractéristiques d'un radar est résumé par une constante C que l'on appelle constante d'étalonnage et qui relie la grandeur effectivement mesurée Pr ou puissance rétrodiffusée par l'atmosphère à la grandeur Z ou réflectivité électromagnétique :  $Pr = C Z/r^2$  où r représente la distance radar cible.*

*La méthode la plus sûre de contrôle de C est certainement la mesure de la puissance rétrodiffusée par une cible de réflectivité connue ou pour le moins stable dans le temps. En zone montagneuse les plus fortes détections de sol peuvent constituer de telles cibles. La stabilité de certains échos de sol a été analysée et deux conclusions ont pu être tirées :*

- la constante C du système utilisé fluctuait de manière significative au fil des heures au sein d'un événement pluvieux*
- le niveau moyen de C diffère sensiblement d'un événement à l'autre.*

*En conséquence il est impossible d'utiliser le radar en mode opérationnel sans contrôler sa stabilité. Les détections de sol, si elles sont suffisamment puissantes, sont certainement un bon moyen d'ajuster C sans recourir à une information extérieure.*

*Enfin les méthodes d'analyse du signal radar ont dû apporter des corrections liées aux effets du relief (masquage du signal) et à la variabilité verticale des réflectivité dans l'atmosphère. Les validations ont montré la forte nécessité de ce type de correction en montagne.*

***C - Validation de ces méthodes au moyen de mesures classiques réalisées au sol à l'aide de pluviomètres.***

*Dans cette étude les données pluviométriques sol ont été utilisées pour constituer une base de validation en prenant les précautions suivantes :*

- les méthodes utilisées pour corriger les données radar n'utilisaient pas directement les données sol*
- la référence tirée des données sol a été associée à une incertitude (variance d'erreur par exemple) prenant en compte les erreurs de mesure ponctuelle due aux capteurs mais surtout les erreurs d'interpolation commises en intégrant sur des bassins versants à partir de mesures.*

*La conclusion de cette validation est double :*

- les traitements du signal radar évoqués en B sont absolument indispensables, comme le montrent les essais de validation pratiqués avec et sans ces corrections.*
- à condition de disposer d'un système radar stable, il est parfaitement possible de substituer l'information radar à celle d'un réseau de pluviomètres de densité considérée comme forte tel que celui des Cévennes."*

L'utilisation du radar pour la détection quantitative des fortes pluies est un objectif ambitieux déjà ancien, mais toujours confronté à des limites techniques. Ces limites sont à la fois liées au radar lui-même (problèmes de dérive) et à la configuration du terrain (reflets et masquages par le relief), ces dernières étant particulièrement importantes en terrain montagnard

L'étude entreprise par le LTHE et le LCPC visait la détection quantifiée des pluies intenses sans références à des mesures pluviométriques faites au sol.

Les problèmes techniques sont bien délimités (dérive du radar, masquage, réflexion de sol, variation des relations réflectivité-intensité, modification des propriétés de réflectivité de l'air avec l'altitude). et on leur a proposé des solutions grâce à des méthodes de correction.

Cependant malgré la conclusion optimiste de l'étude il paraît encore un peu prématuré de penser substituer le radar au réseau de pluviomètres. Il convient plutôt de raisonner en terme de complémentarité.

### 3.2.3. Débit de crue dans les petits bassins versants montagneux

Extraits du rapport du LTHE :  
"Prévision des débits de crue dans les petits bassins versants en montagne"

*"Ce projet développé par le LTHE et le CRES de Lancaster, concernait la prévision de débits de crue dans les petits bassins versants montagneux (quelques dizaines à quelques milliers de km<sup>2</sup>), notamment méditerranéens, caractérisés par un relief marqué (avec de fortes pentes plus que de fortes altitudes), des précipitations fortes, variables dans l'espace et souvent influencées par le relief et des crues violentes, parfois dommageables.*

*Son but premier était de repousser les limites des modèles actuels de prévision de crues, et de contribuer au développement des connaissances sur le fonctionnement des bassins en crue. pour cela, il a fallu accéder à de nouvelles données, issues des expérimentations de terrain, mais aussi de la télédétection et des systèmes d'information géographiques notamment.*

*La démarche proposée dans ce projet comportait deux volets :*

*-un volet expérimental*

*- un volet de modélisation cognitive*

*Il est apparu que le seul bassin permettant la mise en oeuvre de ce programme était le bassin du REAL COLOBRIER, situé dans le Var, et déjà exploité par le CEMAGREF.*

*En conclusion de cette étude, un certains nombre de connaissances nouvelles paraissent avoir été acquises :*

*D'un point de vue "expérimental", il semble que l'on puisse mieux définir le rôle de l'état d'humidification initiale d'un bassin. Il détermine en effet à la fois la proportion de ruissellement que donnera une pluie (cette proportion augmente bien sûr avec l'humidité du bassin), mais aussi la "rapidité" de cette réponse qui paradoxalement, tend à diminuer lorsque le bassin est humide, signalant vraisemblablement l'augmentation de la part des eaux souterraines dans le débit de la rivière.*

*Du point de vue de la "modélisation au versant", les résultats du modèle de versant montrent comment on peut concevoir (mais il reste à mesurer) le fonctionnement des apports souterrains à la rivière au moment des crues :*

*- la formation d'une surélévation relativement forte du niveau d'une nappe voisine de la rivière est due à la présence d'eau capillaire avant la pluie, et elle est d'ailleurs d'autant plus rapide que cette eau capillaire est plus importante (rôle des pluies antérieures).*

- cette surélévation provoque alors des flux souterrains, par écoulement gravitaire de la nappe vers la rivière et exfiltration, relativement importants. Il reste toutefois à prouver que ce qui est modélisé sur un versant a une signification sur l'ensemble du bassin.

*En ce qui concerne les mécanismes qui interviennent pour la génération des crues on ne peut pas vraiment conclure pour le moment, faute d'un nombre suffisant d'épisodes de crues pendant lesquels on dispose du suivi des eaux superficielles et profondes.*

*L'état actuel de nos connaissances conduit à penser que les différents schémas à la base des modèles dits "cognitifs" ne paraissent pas sans fondements puisque l'on est capable de modéliser au versant des écoulements souterrains proches de ceux qui sont supposés dans les modèles de bassin.*

*En ce qui concerne les écoulements de surface, ils fonctionnent probablement de manière complexe, comprenant à la fois des refus d'infiltration sur zones imperméables comme le laisse penser la fonction de transfert rapide du bassin sec, et à la fois comme refus d'infiltration à cause de surface saturées proches de la rivière comme le suggère le modèle de versant lorsque la pluie violente et de grande durée parvient sur un bassin très humide.*

*Ces différents concepts sont par exemple inclus dans la structure de TOPMODEL, mais leur activation et leurs proportions respectives sont liées à des choix de paramètres. Or l'optimisation sur les seules données pluies et débits ne permet pas de se rapprocher des conditions réelles; il faut imposer des conditions supplémentaires, déduites des observations ponctuelles et de la modélisation au versant, par exemple si l'on veut simuler une dynamique réaliste pour l'extension des zones saturées.*

*De même la proportion, et la dynamique propre de chaque processus générateur d'écoulement, peut-elle expliquer pourquoi la variabilité spatiale des pluies se trouve si tamponnée dans les débits à l'exutoire.*

*On mesure donc tout l'intérêt de ce dialogue entre expérimentations "terrain" à différentes échelles, et modélisations associées là aussi à différentes échelles."*

L'étude des conditions de partage et d'écoulements superficiels et souterrains des eaux de pluies, est un thème de recherche singulièrement important dans le cadre de la lutte contre les risques naturels. Il est particulièrement intéressant de mener cette recherche comme cela a été fait dans ce travail, en associant les études phénoménologiques sur terrain et le développement de modèles numériques cognitifs.

A propos du schéma de circulation des eaux de pluies dans un petit bassin versant méditerranéen, cette étude a permis de constater le rôle de l'état initial d'humidification des terrains dans le partage des eaux de pluie entre ruissellement et infiltration, ainsi que les conditions de contribution des nappes à l'alimentation des crues.

Cependant les hypothèses explicatives avancées ont encore besoin de vérifications, et les modèles numériques de moyens de calages solides.

### 3.3. MORPHOLOGIE ET TRANSPORTS SOLIDES DANS LES COURS D'EAU

#### 3.3.1. Recherches sur les risques torrentiels dans le bassin expérimental du torrent de l'église, Les Arcs, Savoie

Dans le cadre du contrat de plan Etat-Région Rhône-Alpes le LAMA a mené une recherche sur le fonctionnement d'un bassin versant du point de vue des transports solides et des risques consécutifs à l'érosion des terrains. Le choix du site s'est porté sur un bassin du versant des Arcs en Savoie.

Extraits du rapport du LAMA :

"Le bassin versant expérimental du torrent de l'église. Les Arcs. Savoie."

*"Les objectifs de cette étude étaient les suivants :*

- prise en compte de tous les paramètres du milieu pour étudier leurs interactions ainsi que le fonctionnement du bassin et de son torrent;*
- étude de l'érosion et de la stabilité des versants pour déterminer la dynamique du bassin;*
- proposition d'idées prospectives destinées à la prévention de l'érosion par maintenance de l'équilibre des milieux.*

*Les recherches et leurs résultats se sont insérés dans deux axes :*

- recherche fondamentale : la compréhension du fonctionnement du bassin versant en fonction de paramètres naturels et anthropiques (hydrologie - érosion).*
- recherche appliquée : la rédaction de documents cartographiques analytiques et synthétiques dont la carte des risques déclarés et potentiels considérée comme outil d'aide à la décision.*

*La liste ci-après résume la conception de cette action scientifique.*

*La première année de travail (1987) a été consacrée avant tout à l'installation des appareils de mesure climatologiques et hydrologiques et à une reconnaissance approfondie du bassin versant.*

*L'année 1988 a été essentiellement celle de l'expérimentation de l'appareillage et de la mise en évidence de nombreux problèmes liés à la montagne du site (intempéries, gel), aux difficultés d'accès pendant l'hiver, aux transports solides bloquant les hydromètres, enfin à la présence perturbatrice des aménagements et du fonctionnement des stations d'Arc 1600 et d'Arc 1800 (coupure de courant alimentant les stations de mesure - terrassements - détournement du torrent dans la conduite E.D.F. sans programme établi et connu). Cette année a été celle aussi des reconnaissances de terrain devant aboutir à la cartographie détaillée au 1/5000e des paramètres de structure et des formes marquées d'érosion dans le bassin et dans le talweg du torrent.*

*1989 a été l'année de réalisation des très nombreuses cartes thématiques, et à partir de celles-ci, étayées par la vérité terrain, de l'élaboration de la matrice d'information devant servir à la production des cartes automatiques. Toutes les cartes ont été réalisées au 1/5000e mais pour des commodités de manipulation elles sont présentées dans l'Atlas, au 1/10000e.*

*La dernière année du contrat a été consacrée à la sortie des résultats cartographiques, à leur interprétation et à une synthèse concernant les zones fragiles et homogènes du bassin par cartographie intégrée, et également, à la mise en forme des mesures hydroclimatologiques (critique des données, sorties de listings et de tableaux).*

*Il est évident qu'au cours de toutes ces années un travail de terrain était mené parallèlement au travail de laboratoire.*

*Le rapport de synthèse de cette étude rend compte de cette action au cours de laquelle il a fallu s'adapter à des conditions difficiles. Il est le reflet d'un gros travail collectif aboutissant à une excellente connaissance du site, des paramètres déterminants dans la dynamique du bassin et des problèmes susceptibles de naître à partir de risques naturels et/ou anthropiques."*

Cette étude correspond à un travail d'observation et de description. Les formations superficielles, la végétation, le climat, les réseaux hydrographiques naturels et artificiels, et les formes d'érosion y sont décrits dans le détail.

On peut regretter que ce travail descriptif ne serve pas de base à une analyse interprétative sur les causes et les processus responsables de ces érosions de sols. Ce n'est qu'en améliorant la connaissance des mécanismes responsables que l'on pourra trouver des moyens de lutte spécifiques et efficaces.

### **3.3.2. Simulation numérique de l'évolution morphologique des rivières de montagne au cours des crues**

Extraits du rapport du LHF :

"Simulation numérique de l'évolution morphologique des rivières de montagne au cours des crues"

*"Les rivières de montagne alluvionnaires forment un système fragile du point de vue de leur équilibre morphodynamique. Les excès ou les déficits de transport solide peuvent avoir un impact important sur cet équilibre, impact qui est surtout sensible en période de crue où les lits sont soumis à de fortes sollicitations.*

*Or, des événements, quelquefois naturels, mais souvent liés à l'activité humaine modifient l'équilibre originel des rivières. Il est donc de la plus haute importance de pouvoir anticiper, au moins qualitativement et si possible quantitativement, quels peuvent être les impacts sur les lits des rivières de ces modifications;*

*On explore dans le cadre de cette étude, effectuée par le LHF avec la collaboration du CEMAGREF et de l'IMG, les possibilités qu'offrent les outils de simulation numérique, pour traiter ces problèmes. La modélisation numérique des rivières à fonds mobiles, qui est maintenant fréquemment utilisée pour les études des rivières de plaine, est appliquée ici au cas des rivières de montagne.*

*Le projet a consisté en une étude de faisabilité de l'application d'un code prototype de modélisation des rivières à fonds mobiles au cas des crues débordantes en rivières de montagne.*

*Il se décompose de la façon suivante :*

- analyse bibliographique des avancées qui ont pu être réalisées récemment dans le domaine*
- introduction de la prise en compte des champs d'inondation dans le code existant, sous une forme cohérente avec la simulation de la propagation des crues réalisée par les modèles à fond fixes*
- introduction de la représentation du sapement des berges et de l'engraissement du lit, de l'évolution de la largeur du lit ordinaire, et de l'empiétement du lit majeur*
- réalisation d'une maquette sur un tronçon de rivière alpine et étude de sensibilité permettant d'analyser les insuffisances du modèle existant, les spécificités des problèmes, et les développements ultérieurs nécessaires.*

*Le code SEDICOUP, utilisé pour ces travaux de recherche, est un code de modélisation des écoulements, du transport de sédiments et de l'évolution morphologique d'une rivière, limité dans sa version initiale au lit mineur seulement. L'une des contributions du LHF à ce projet a été d'introduire en plus de ce lit mineur deux lits majeurs en rive droite et en rive gauche afin de pouvoir représenter les crues débordantes.*

*Le transport solide par charriage s'effectue essentiellement dans la partie active du lit mineur. En revanche le transport en suspension se répartit sur toute la section liquide : c'est à dire en cas de débordement aussi dans le lit majeur.*

*Il n'y a pas de différence notable entre l'hydraulique (lignes d'eau, débits) qui peut être calculé par les codes usuels à fond fixe bien maîtrisés et le code SEDICOUP.*

*Le calcul du transport solide par charriage dans le lit mineur se fait de façon satisfaisante. On constate le bon fonctionnement des procédures en érosion et en dépôt pour des granulométries uniformes, ou bien en présence d'hétérogénéités entre les granulométries du lit mineur et celles des berges.*

*Les rivières de montagne ou de piémont comportent aussi des singularités qui doivent être prises en compte par la modélisation : par exemple une discontinuité dans le profil ou la section, la présence de structures existantes ou projetées (radier, ponts), la possibilité d'affleurements rocheux inérodables, etc.*

*Les simulations numériques, surtout si elles sont utilisées pour répondre aux questions que pose l'aménagement des rivières doivent pouvoir prendre en compte de telles singularités.*

*Du point de vue de la simulation, il s'agit de reconnaître ces éléments, et d'appliquer des lois de comportement (perte de charge, caractéristiques du transport) qui ne sont pas les lois physiques utilisées pour les tronçons de calcul habituels.*

*Les méthodes au LHF dans ce domaine ont été précisées à l'occasion de l'étude morphologique du Danube et de l'Isar; on a introduit à cette occasion la possibilité de modéliser un radier inérodable et sa construction en fonction de l'évolution morphologique; on a aussi introduit la possibilité de modéliser les affleurements rocheux.*

*Au cours de cette étude on a recherché la mise en oeuvre de ces procédures pour une situation particulière fréquemment rencontrée dans les rivières de montagne : la conjonction de crues avec le transport de sédiments par charriage.*

*On a montré la faisabilité d'une modélisation des conséquences morphologiques d'un ouvrage écrêteur de crues. La caractéristique supplémentaire étant ici la rapidité des phénomènes hydrauliques et donc, à priori, la disparité d'échelle de temps avec les phénomènes morphologiques.*

*On a abordé aussi un aspect supplémentaire qui n'est pas exclusivement du ressort de la modélisation des évolutions morphologiques avec la présentation d'un film d'animation vidéo qui a été réalisé à partir de cet exemple d'application.*

*En conclusion cette étude montre, et résoud, quelques uns des problèmes de la modélisation des phénomènes morphologiques en rivière.*

*Elle montre les potentialités des systèmes de modélisation récents.*

*On a certes peu abordé ici les questions de validation des modèles qui sont indispensables avant d'aborder une étude prédictive. L'expérience montre qu'une bonne validation est possible. Elle ne demande pas forcément une quantité de mesures et d'investigations très importante. Mais elle devra être conduite précisément en fonction de la modélisation qu'elle devra valider.*

*Cette modélisation est accessible pour les études courantes, avec des moyens de calcul courants. Si la validation et les hypothèses de calcul sont correctes, les résultats seront fiables."*

La recherche de code de simulations numériques capables de modéliser les transports liquides et solides dans les torrents devient à l'ordre du jour. De tels codes opérationnels apporteraient d'une aide précieuse dans la lutte contre les crues torrentielles et l'aménagement des cours d'eau en montagne. Cependant le développement de tels codes n'en est qu'à ses débuts et ceux qui existent aujourd'hui sont encore assez loins d'être complètement opérationnels.

L'étude menée par le LHF, le CEMAGREF et l'IMG a permis des progrès dans cette voies notamment en prenant en compte :

- la possibilité de crue débordante (élargissement du lit)
- les phénomènes de transports solides avec érosion/dépôt, transports par suspension/charriage
- les singularités présentes sur le profil en long du torrent

Les besoins résiduels sont encore nombreux. Suite à cette étude on pourra chercher à valider le code existant, à passer à un code bi ou tridimensionnel pouvant prendre en compte des morphologies de torrents plus complexes et plus proches de la réalité.

### 3.3.3. Etude de la granulométrie du lit des torrents

Extraits du rapport du CEMAGREF :  
"Etude de la granulométrie du lit des torrents"

*"L'objectif de cette étude menée par le CEMAGREF est de définir et de proposer une méthodologie de lecture de la morphologie des lits torrentiels, d'en proposer une interprétation dynamique, de façon à permettre le choix judicieux d'emplacement de mesures granulométriques adaptés aux objectifs particuliers d'une étude de protection contre les risques torrentiels.*

*Du point de vue méthodologique un point important a été le choix d'une méthode pratique de détermination de la granulométrie et sa traduction par des variables quantitatives chiffrées. On a alors pu caractériser plus finement chaque secteur morphologique en complétant les variables usuelles (dimensions géométriques, pente, profil) par ces informations quantitatives de granulométrie.*

*Le problème de l'obtention des paramètres de base étant résolu, on a pu aborder celui de la lecture et l'interprétation des secteurs morphologiques des lits torrentiels. Cela s'est fait en trois étapes : reconnaissance sur le terrain de ces différents secteurs morphologiques pour y faire des mesures représentatives, analyse des mesures pour caractériser les différences entre ces différents secteurs, interprétation de ces différences en terme de dynamique torrentielle.*

*Le champ d'étude a été dès le départ limité aux phénomènes torrentiels autres que les laves. Neuf torrents ont été sélectionnés selon ce critère. En pratique, comme aucun torrent n'est à l'abri de l'occurrence d'une lave torrentielle, certains d'entre eux comportent effectivement des dépôts provenant de laves torrentielles.*

*Ces neuf torrents ont été parcourus et des mesures des divers paramètres ont été faites, conformément à la problématique indiquée précédemment. Puis ces paramètres ont été analysés, essentiellement torrent par torrent et le travail d'interprétation, de recherche des liaisons entre ces différents paramètres a pu être fait. Un point important portait sur la formation des marches d'escalier, ce type de pavage spécifique aux torrents, qui en assure généralement la stabilité.*

*Le deuxième temps de l'étude a d'ailleurs porté sur l'étude de ce problème, sur modèle réduit. Il a abouti à un modèle numérique permettant de simuler la formation du pavage à partir de courbes empiriques liant la probabilité d'arrachement des particules solide du lit torrentiel à sa composition granulométrique.*

*Au delà de l'étude chiffrée du pavage, l'observation du comportement du lit torrentiel pendant les écoulements, avec ou sans transport, en mono ou en bidimensionnel, a permis de conforter ou modifier certaines des intuitions qui s'étaient dégagées lors de la phase d'interprétation de la morphologie des torrents.*

*Sur un même torrent, les lois log-normales obtenues pour diverses granulométries diffèrent suivant les zones morphologiques où elles ont été obtenues. La variabilité spatiale sur une zone a été étudiée pour la distinguer de la variabilité inter-zones.*

Par ailleurs, une séparation a été introduite dans les classes granulométriques entre les matériaux inférieurs à 1 cm et les autres. Du point de vue statistique, on a remarqué que la fraction granulométrique inférieure à 1 cm était très variable, par opposition aux autres classes granulométriques.

Cela a conduit à envisager un traitement particulier de cette classe et à s'appuyer essentiellement sur les autres classes pour traduire le phénomène envisagé. On propose de considérer la fraction granulométrique inférieure à 1 cm comme résultante de deux phénomènes : une partie provient du transport usuel et sa quantité est en relation avec le reste de la courbe granulométrique et peut être calculée à partir d'elle, une autre partie provient du lessivage et vient tout simplement s'ajouter à la première.

Les courbes granulométriques diffèrent notablement selon le secteur morphologique (seuil, mouille, lit, zone de dépôt) dans le torrent : le  $d_{50}$  varie de 1 à 6, le  $d_{90}$  varie de 1 à 8. Ceci indique qu'il ne peut être question de calculer des paramètres granulométriques à n'importe quel endroit du torrent et qu'il faut un critère pour décider à quel endroit il faut faire la mesure. Celui-ci est bien évidemment donné par l'objectif recherché.

Les phénomènes torrentiels assurent la dépendance de ces différents secteurs entre eux, ce qui signifie qu'on comprendra la dynamique torrentielle lorsqu'on aura élaboré le modèle qui relie les diverses courbes granulométriques.

Les phénomènes torrentiels sont assez nombreux et les reconnaître à partir de la structuration qu'ils ont imposée au lit torrentiel peut sembler présomptueux, surtout si on ajoute à la complexité naturelle des phénomènes torrentiels, les conséquences de l'alternance de ces phénomènes dans le temps et la variabilité naturelle des bassins versants torrentiels (géologie, présence d'affluents, etc.). Les études de terrain ont d'ailleurs montré que certains secteurs de torrents étaient en effet inaccessibles à l'interprétation.

D'autre part, la pente, principal paramètre de l'évolution torrentielle, ne joue pas toujours le même rôle. D'une importance considérable dans les lits très complexes de pentes comprises entre 2 et 8 %, elle prend un caractère secondaire lorsqu'elle dépasse cette valeur. Il semble que l'on diverge alors totalement de l'hydraulique classique et que les phénomènes dépendent plutôt de caractéristiques locales du lit. Un exemple de ce changement de comportement est l'augmentation de l'occurrence de laves torrentielles au-dessus de 8 % et d'une façon plus générale, celle de génération de mouvement de masse.

On a vu qu'entre les zones morphologiques d'une part, entre les zones morphologiques et les phénomènes torrentiels d'autre part, existent des relations qu'il s'agit de découvrir. Ces relations peuvent être intuitivement pressenties quand on est sur le terrain ; elles ne peuvent être isolées et quantifiées que sur modèle réduit, avec la conséquence inéluctable d'une réduction par rapport à la réalité et donc la question de savoir dans quelle mesure les résultats obtenus sur modèle sont utilisables sur le terrain.

L'analyse sur modèle réduit du déroulement du phénomène de formation du pavage a conduit à ne pas se contenter des théories existantes dans ce domaine qui étudient la transformation de la courbe granulométrique et cause du pavage, en la considérant dans son ensemble. On a proposé de traduire cette transformation par des relations causales traduisant les effets des différentes classes granulométriques les unes sur les autres. Ces relations sont empiriques et doivent donc être confrontées à d'autres expérimentations.

*Un modèle mécanique établissant ces relations serait d'ailleurs encore préférable et ferait progresser d'un niveau supplémentaire l'explication du phénomène.*

*Quoiqu'il en soit, un modèle de l'évolution temporelle de la granulométrie du lit torrentiel, de la granulométrie et de la quantité du transport solide, a été élaboré, ce qui n'était pas possible avec les théories existantes qui permettent seulement de prédire l'état final à partir de l'état initial."*

Cette étude entreprise par le CEMAGREF est centrée sur la recherche d'une méthodologie permettant de mesurer la granulométrie des dépôts torrentiels. Ce sujet d'étude initial s'est rapidement élargi à la morphologie et à la dynamique torrentielles, explorées à partir des mesures granulométriques.

Il est du plus grand intérêt de chercher à faire progresser les connaissances sur la dynamique torrentielle. La démarche utilisée au cours de ce travail est originale et prometteuse malgré la difficulté du sujet.

Les résultats obtenus sont significatifs dans le domaine de la granulométrie (caractérisation des granulométries par zones morphologiques du lit, étude du pavage). Mais des voies de recherches nombreuses restent encore ouvertes dans celui de la dynamique torrentielle :

- caractérisation de la nature, des propriétés et de l'évolution des écoulements torrentiels
- interactions entre le lit et des écoulements plus ou moins importants et plus ou moins chargés
- physique des fluides torrentiels qui reste encore essentiellement empirique
- lois de similitude pour les modélisations sur maquettes et développement des codes pour les modélisations numériques

#### 3.3.4. Etude des laves torrentielles

Extraits du rapport du CEMAGREF :  
"Lois d'écoulement des laves  
torrentielles"

*"Cette étude menée par le CEMAGREF, aidé du LHF et du Laboratoire de Rhéologie de l'Université Joseph Fourier, avait pour but de réaliser un travail complet qui servirait de base pour comprendre la rhéologie particulière des divers mélanges possibles formés d'eau, d'argiles et de grains de toutes tailles, et de proposer une technique de détermination de la loi de comportement d'une lave torrentielle quelconque.*

*Une partie importante du travail a été basé sur des expériences réalisées à l'aide des rhéomètres en place au Laboratoire de Rhéologie. Une autre partie du travail repose sur les expériences réalisées sur le terrain à l'aide d'un rhéomètre de grande taille.*

*Au cours du travail au laboratoire, une place importante a été faite aux précautions expérimentales à mettre en place pour obtenir des résultats de rhéométrie qui soient pertinents. Notamment le glissement, la fracturation ou le creusement de l'échantillon au cours des expériences sont des phénomènes parasites; il y a des effets de bords à éviter qui perturbent l'écoulement. L'ensemble des techniques proposées permet de réaliser maintenant en confiance des expériences de rhéométrie.*

*Le travail a consisté d'abord en une meilleure compréhension des lois de comportement de divers mélanges eau-argiles. Notamment, dans ce cadre, une modélisation complète de la loi de comportement des dispersions concentrées a été proposée. Ce type de loi de comportement s'applique à des mélanges eau-argiles pour lesquels les interactions entre particules sont très fortes (par exemple eau-bentonite).*

*On a ensuite étudié les mélanges eau-fraction fine de laves torrentielles (cette fraction fine contient une importante proportion d'argile). Il est apparu en faisant des expériences très précises dans une gamme de gradients de vitesse très large que le modèle de Bingham était insuffisant pour décrire la loi de comportement en cisaillement simple.*

*Un modèle très simple de loi de comportement a été proposé, qu'il est possible de caler sur des résultats expérimentaux dans l'ensemble de la gamme de gradients de vitesse testée. Il s'agit du modèle de Herschel-Bulkley.*

*Une seconde partie du travail au laboratoire a consisté à s'intéresser aux lois de comportement des mélanges eau-grains à forte concentration. Le premier résultat essentiel de l'étude a été la mise en valeur d'un seuil de contrainte à partir d'une certaine concentration solide, seuil de contrainte uniquement dû à la formation d'un réseau de frictions intergranulaires au sein de l'échantillon. Le second résultats important est la démonstration de la possibilité d'existence dans certains cas d'un minimum dans la loi de comportement.*

*Le problème suivant à résoudre était celui de la détermination de la loi de comportement des mélanges contenant des particules grossières. Pour cela il fallait d'abord réaliser des tests de rhéométrie sur des mélanges plus grossiers que ceux habituellement testés en laboratoire.*

*On a donc fait construire un rhéomètre de très grande taille susceptible de tester des mélanges contenant des particules allant jusqu'à 2 cm de diamètre. Ce rhéomètre est basé sur la géométrie de mesures "cylindre coaxiaux" utilisée d'habitude à petite échelle et est un prototype complet.*

*Des expériences ont été menées sur sept dépôts de laves torrentielles dans les Alpes pendant l'été 1991. Les résultats ont permis de montrer que les mélanges "semi-grossiers" qui ont été testés peuvent être classés en deux catégories selon la fraction très fine qu'ils contiennent : les mélanges essentiellement boueux (fractions argileuse importante) qui ont un comportement du type Herschel-Bulkley et les mélanges essentiellement granulaires (fraction argileuses très faible) qui ont une loi de comportement avec un minimum.*

*Les connaissances acquises permettent d'abord de distinguer d'emblée sur le terrain les laves selon leur comportement. Les laves boueuses, qui ont en fait une fraction argileuse souvent faible mais suffisante pour que le mélange eau argile puisse lubrifier une partie des mouvements relatifs des particules plus grossières, vont pouvoir s'écouler comme un fluide très visqueux classique. Elles ne seront pas arrêtées facilement par un obstacle et sont susceptible de continuer à s'écouler lentement sur une pente qui devient progressivement faible. Ces laves pourront facilement être remises en mouvement si une autre lave arrive derrière.*

*Au contraire les laves granulaires (beaucoup plus rares en France), qui ont une très faible fraction argileuse mais suffisante pour que la fraction fine soit colorée, sont capables de s'arrêter brutalement si elles rencontrent un obstacle ou si la pente diminue. Elles peuvent difficilement être remises en mouvement à partir du moment où elles sont arrêtées parce que leur seuil de contrainte est très élevé. On pourra alors observer des bouffées se recouvrant les unes les autres."*

Cette étude s'est traduite par des avancées notables sur la connaissance physique des laves torrentielles. La conception, puis la réalisation, d'un rhéomètre de grande taille a permis la caractérisation des propriétés rhéologiques de ces laves, et la distinction entre laves argileuses et granulaires. La connaissance des caractéristiques rhéologiques a rendu possible l'explication de comportements observés sur le terrain comme l'écoulement en bouffées successives.

Après avoir clarifié la rhéologie des laves il reste désormais à étudier leur hydraulique. Ceci passera par des modélisations sur maquettes (projet prévu avec la SOGREAH) et des modélisations numériques.

## **4. ETAT DES BESOINS SCIENTIFIQUES SUR LE THEME EAU FACTEUR DE RISQUES**

Les thèmes de recherche du prochain contrat de plan quinquennal pour la période 1994/1999 pourraient correspondre aussi bien à la poursuite d'études lancées au cours de l'actuel contrat de plan qu'à des développements nouveaux sur des thèmes originaux.

Dans la liste non exhaustive suivante, de propositions de recherches, les besoins sont présentés selon un schéma général global de l'eau en montagne, incluant les apports, le partage de l'eau entre ruissellement et infiltration, le comportement de l'eau en surface et son comportement en sous sol.

Cette liste représente déjà le résultats de concertations sur ce thème entre les membres de différentes équipes de recherche impliquées dans l'actuel contrat de plan. Il s'agit donc d'une **synthèse collégiale**. Cette synthèse des besoins de recherche sur le thème de l'eau facteur de risques n'est pas achevée. Elle a pour ambition d'offrir des **éléments pour une réflexion** où **chacun pourra l'enrichir** en la modifiant et en la complétant selon ses expériences et ses connaissances propres.

### **4.1. APPORTS EN EAU**

Les priorités des objectifs de recherches sur ce thème devraient être les mêmes pour le prochain contrat de plan que pour le plan actuel :

- augmenter les connaissances sur les modalités des régimes de pluies.
- développer des moyens de surveillance automatique des fortes pluies.

#### **4.1.1. Conditions météorologiques et précipitations**

Il est nécessaire de **publier sous forme d'un recueil les courbes Intensité-Durée-Fréquence issues de l'étude statistique des précipitations extrêmes de 1 à 24 heures dans les Alpes et le Jura** réalisée par EDF et le CEMAGREF.

Cette publication demande un effort important de mise en forme et de présentation des résultats mais répondrait à la demande pressante des nombreux utilisateurs (Bureau d'Etudes, Services RTM, Organismes Publics et Laboratoires de Recherche,...) qui ont besoin de telles données.

Suite à cette étude statistique des pluies dans les Alpes et le Jura, il serait également intéressant de **créer un progiciel** comprenant :

- un fichier informatique des données de base
- la procédure de mise à jour annuelle de ces données
- les procédures de création des courbes et des tables des hauteurs/durées/fréquences pour tout point inclus dans la zone traitée.

Dans le domaine d'étude des précipitations il serait aussi souhaitable de mieux connaître les évolutions **du régime de pluie à faibles pas de temps**. Les fortes modifications des quantités instantanées de pluie par unité de surface pendant une averse ne sont pas sans influence sur le partage des eaux entre ruissellement et infiltration.

#### **4.1.2. Morphologie du relief et précipitations**

Le relief a une influence déterminante sur le régime des précipitation en montagne.

Les liens entre les caractéristiques du relief et les régimes des précipitations ne sont pas bien connus et il n'existe pas encore de modèles météorologiques capables de les intégrer correctement compte tenu de la finesse du maillage nécessaire.

S'il faut considérer l'évolution physiques des masses d'air lors des mouvements verticaux "forcés" que le relief induit, les études de METEO-FRANCE à travers le programme AURHELY ont montré qu'il fallait aussi prendre en compte la **spécificité morphologique locale du relief** (col, sommet, versants différemments orientés par rapport aux vents,...).

Il semble que les pluies d'orages violents, responsables d'écoulements torrentiels générateurs de risques, ne soient pas distribuées de façon aléatoire en fonction du relief, mais qu'il existent des **secteurs plus propices que d'autres** à ce genre des pluies.

L'action canalisatrice et bloquante du relief sur les masses pluvieuses conditionne dans une certaine mesure des **répartitions spatiales préférentielles des précipitations extrêmes**.

La connaissance de ces zones préférentielles pourrait permettre de concentrer les efforts de recherche et de lutte sur les zones les plus menacées.

Les progrès sur cette voie de recherche, où presque tout reste encore à faire, en passant d'abord par une collecte et un dépouillement de références et d'observations historiques sur des événements marquants, mais en ayant aussi recours à des enquêtes auprès des montagnards (voir les observations de G.Rovera, de l'Institut de Géographie Alpine dans sa thèse).

Dans le même esprit et en prolongement de l'étude menée par EDF et le CEMAGREF sur les caractéristiques Intensité-Durée-Fréquence des précipitations alpines, il faudrait :

- chercher à faire la liaison entre les précipitations extrêmes de 1 à 24 heures et les paramètres morphologiques.
- faire une cartographie spatiale des paramètres statistiques relatifs aux pluies de faibles pas de temps.

Dans le prolongement de l'étude menée par le CEMAGREF sur le transect TPG, il faudrait d'une part chercher à prendre plus en compte les effets topographiques locaux, et d'autre part poursuivre les mesures sur le transect afin de posséder des données sur plus de perturbations. Il paraît utile également de compléter les mesures par des radiosondages.

#### **4.1.3. Végétation et précipitation**

La végétation arbustive ou herbacée, intercepte une partie des précipitations. Cette eau **recouvrant la végétation repart principalement dans l'atmosphère** par évaporation et ne rentre donc pas dans le bilan des eaux du sol. Il apparaît que ce phénomène peut avoir une importance

non négligeable, mais surtout en climat méditerranéen. Reste à savoir si cette tendance peut être confirmée en région alpine. Des études sont donc nécessaires sur ce thème comme celle qui est en cours au Réal Collobrier.

Mais la végétation n'est qu'un des facteurs localisés sur la surface topographique, filtre essentiel pour le partage des eaux.

#### **4.1.4. Détection radar des pluies**

La reconnaissance des masses pluvieuses par radar est une technique qui reste intéressante malgré l'importance de ses limites actuelles :

- difficultés de mesurer à longues distances (100 km)
- besoin d'un contrôle de l'étalonnage grâce à des mesure des pluies au sol
- difficulté à quantifier les volumes de pluies
- prix très élevés des installations.

En montagne les difficultés sont plus aiguës encore, surtout à cause de l'importance des reflets et des masquages dus au relief. Par rapport aux mesures au sol le radar offre une vision globale qui permet un suivi plus facile de la délimitation spatiale et de la dynamique des masses pluvieuses.

Les 12 radars du réseau de METEOFRACTANCE ne couvrent qu'une partie des montagnes. Les protocoles d'exploration atmosphérique et les modes de traitement informatique des images radar sont peu adaptés aux problèmes posés par la montagne.

**Il conviendra de proposer un projet qui permette d'améliorer cette situation comme le fait remarquer l'équipe du LTHE .**

Le radar peut compléter utilement les instrumentations de terrain placées sur les sites expérimentaux de type BVRE. Mais à supposer que l'accord se fasse sur de nouveaux BVRE, il serait étonnant que ceux-ci se trouvent dans le champ d'un radar existant.

Enfin dans l'optique du développement d'une méthodologie de détection automatique des pluies par radar, on peut imaginer un projet associant le radar à un réseau de pluviomètres et de limnigraphes permettant de développer un modèle autocorrigeable qui refait par exemple chaque heure l'estimation de la situation à venir à partir des pluies réelles des heures précédentes. Un réseau de limnimètres télétransmis devant permettre, en temps réel, la comparaison entre la dernière prévision et la réalité.

Pour toutes ces raisons, on peut se demander si l'effort de recherche particulier à faire autour du développement des radars a bien sa place dans un programme tel que celui qui est envisagé dans le Contrat de Plan. Ne faut-il pas plutôt essayer de financer les recherches correspondantes par des programmes plus riches, plus technologiques, et attendre une réelle vulgarisation des méthodes en plaine avant de chercher les développements spécifiques nécessaires en montagne ?

#### **4.1.5. Conditions d'alimentation en eau par la fonte des neiges**

Il faut prendre en compte de façon réaliste les venues d'eau de fonte des neiges dans les bilans de circulation des eaux des massifs montagneux.

Dans ce domaine d'étude le CEN a montré que l'on peut s'appuyer sur le modèle déterministe SAFRAN-CROCUS pour suivre l'évolution du manteau neigeux et de la lame d'eau libérable. Ceci se fait par massif en tenant compte de l'altitude et de l'exposition des versants. L'eau de fonte peut rester stockée dans le manteau neigeux avant d'être libérée, celui-ci possédant une certaine capacité de stockage d'eau liquide (neige fondue ou pluie).

Différentes études sont à proposer sur ce thème, comme par exemple la recherche d'une méthode d'estimation de l'épaisseur du manteau neigeux grâce à un traitement d'image spécifique.

## **4.2. REPARTITION DE L'EAU ENTRE INFILTRATION ET RUISSELLEMENT**

Il s'agit d'un facteur prépondérant dans le déclenchement des phénomènes générateurs de risques naturels en montagne.

Les crues et laves torrentielles surviennent lorsque les possibilités d'infiltration des sols sont dépassées. De nombreux paramètres interviennent sur la capacité d'un sol à absorber de l'eau. Certains paraissent devoir être identifiés rapidement (degrés d'humidité, pente, épaisseurs et nature de la végétation et du sol, porosité,...), d'autres peut-être moins (modifications dues à la présence récente d'un tapis neigeux,...)

#### **4.2.1. Influence du manteau neigeux sur les propriétés du sol**

On sait pas aujourd'hui dans quelle mesure le stationnement prolongé pendant une bonne partie de l'année d'un manteau neigeux sur un sol peut en altérer la nature et les propriétés.

On ne sait pas non plus dans quelle mesure les propriétés du sol se modifient après la disparition de la neige pour se rapprocher de celles d'un sol identique qui n'aurait pas été recouvert.

L'influence du manteau neigeux sur la végétation fait l'objet d'une proposition de contrat européen par le CEN en collaboration avec l'Université Joseph Fourier de Grenoble.

#### **4.2.2. Recherche du devenir des eaux de fonte de neige**

On ne sait pas encore grand chose non plus des modalités de partage des eaux provenant du tapis neigeux. Après avoir estimé les conditions de libération de ces eaux, il faut aussi chercher à savoir comment elles sont distribuées entre ruissellement et infiltration. Il se pourrait qu'elles participent plus qu'on l'imagine à l'alimentation des nappes souterraines.

#### **4.2.3. Méthodologie de mesure du degré de saturation des couches superficielles**

Il est indispensable de mettre au point une méthode de mesure ou d'estimation du degré d'humidité des couches superficielles, et de suivre son évolution dans le temps.

L'état d'humidité des sols détermine dans une large mesure les conditions de partage des eaux entre infiltration et ruissellement. Il est par ailleurs également déterminant sur la stabilité des terrains de montagne. Aussi longtemps que le terrain reste non saturé les conditions de son équilibre mécanique ne varient que fort peu. Mais à l'instant précis où l'on arrive à saturation le champ des pressions interstitielles peut être perturbé transitoirement et rapidement et cela peut provoquer des ruptures. Le degré d'humidité dépend lui-même de plusieurs autres paramètres tels que la nature et l'importance de la végétation et des sols, l'intensité de la pente et son exposition.

## **4.3. PROPAGATION DES ECOULEMENTS EN SURFACE**

### **4.3.1. Les ruissellements de versant**

#### **4.3.1.1. Influence de la nature du sol sur les modalités du ruissellement**

Si une eau n'est pas absorbée par le sol et qu'elle ruisselle, le sol peut modifier ses conditions d'écoulement en contrôlant pour partie sa dynamique et sa charge solide.

Ces deux caractéristiques du ruissellement ont chacune un rôle important dans les modalités de déclenchement des phénomènes générateurs de risques. Et à ce titre il est important de chercher à mieux cerner les conditions dans lesquelles le sol, par ses différents paramètres (nature, porosité de surface, capacité de freinage,...), peut influencer ruissellement et infiltration.

#### **4.3.1.2. Optimisation des techniques de modélisation d'écoulement en versant**

Les modèles d'écoulement classiques utilisent des surfaces numériques de types MNT construites en maillages carrés. Cette structuration n'est pas la plus performante. Les écoulements par "tubes de courant", sont construits selon un maillage découpé et orienté en fonction de la topographie du terrain.

Cette méthodologie préconisée par I. Moore permet de prendre en compte de façon beaucoup plus réaliste et facile d'utilisation le caractère tridimensionnel du terrain. Il paraît donc souhaitable de développer des modèles d'écoulement de versant en profitant de ces techniques de modélisation.

### **4.3.2. Les écoulements torrentiels**

L'importance des interactions entre les écoulements facteurs de risques (crues ou laves) et le lit torrentiel dans la détermination de l'importance des risques induits est un fait établi, mais dont les processus sont mal connus. Les problèmes particuliers du sapement des berges et de l'augmentation corrélative de la charge solide méritent beaucoup d'attention.

Des études sur ce thème ont déjà été engagées, et ont pu comporter des études de terrain, ou des modélisations numériques ou sur maquettes. Mais subsistent encore des inconnues et des incertitudes qui justifient de continuer l'investigation.

La création d'un observatoire torrentiel pourrait permettre d'étudier sur le terrain à la fois les écoulements hyperconcentrés et les laves torrentielles d'une part, et l'évolution du lit torrentiel d'autre part.

#### **4.3.2.1. Amélioration des modèles numériques sur l'évolution du torrent**

La modélisation numérique des écoulements en torrents est une discipline plus récente et moins bien rodée que la modélisation des écoulements en rivières. Pourtant, les écoulements pouvant être plus dommageables en torrent qu'en rivière, des modèles numériques opérationnels pourraient apporter une aide précieuse dans la lutte contre les risques naturels en montagne, tant dans le domaine des recherches phénoménologiques que dans la gestion du risque.

Plus précisément on pourra chercher à étendre les possibilités des codes actuels à des environnements à 2 ou 3 dimensions et à intégrer différentes géométries de réseaux hydrographiques.

On pourra aussi tester les modélisations numériques sur des écoulements différents des eaux de torrents, comme les laves torrentielles dont on commence à entrevoir les propriétés rhéologiques et mécaniques.

#### **4.3.2.2. Etude des lois de comportement des écoulements à risques**

Il est nécessaire de poursuivre les travaux engagés pour comprendre les mécanismes et les lois dirigeant la propagation (lois rhéologiques) des écoulements générateurs de risques.

La capacité de prévision des modalités de progression de ces écoulements est en effet une condition préalable à une bonne capacité de prévision des risques qu'ils induisent.

L'effort porté sur l'étude des laves torrentielles doit être poursuivi, mais il serait tout aussi utile de s'intéresser aux écoulements d'eaux hyperchargées dont le comportement physique, sensiblement différent de celui de l'eau torrentielle, est mal connu.

### **4.4. CIRCULATIONS SOUTERRAINES DE L'EAU EN MONTAGNE**

On connaît peu de chose sur les conditions de circulation souterraine de l'eau en montagne. Dans le domaine des risques naturels les programmes d'étude de l'eau souterraine devront chercher à clarifier les relations qui existent entre les conditions d'alimentation en eau par infiltration et la préparation, puis le déclenchement, des glissements de terrain. L'importance de la contribution des eaux souterraines au développement des crues n'est pas bien connue et demande à être étudiée également.

#### **4.4.1. Les modes de circulation souterraine**

Les écoulements de l'eau souterraine en montagne n'obéissent pas aux lois classiques de l'hydrogéologie de plaine qui sont utilisées pour les décrire. Les études des modalités propres au terrain montagnard devront donc commencer leurs investigations en essayant de trouver la séparation entre les zones saturées et non saturées.

##### **4.4.1.1. Détermination de la géométrie de la zone saturée**

Compte tenu des spécificités topographiques et structurales des terrains en montagne, il est assez douteux que puissent y exister des nappes continues à l'image du modèle classique que l'on connaît en plaine.

De même, et pour les mêmes raisons, il est très vraisemblable que les vitesses d'écoulement souterrain en montagne soient bien différentes de celles que l'on calcule en plaine.

Dans ces conditions c'est le concept même de nappe (défini pour la plaine) qui paraît ne pas avoir le même sens en montagne. **Les conditions réelles de l'écoulement souterrain en montagne restent pour l'essentiel à déterminer.**

#### **4.4.1.2. Détermination des modalités d'écoulement de la zone non saturée**

Les conditions d'écoulement en milieu triphasé à travers la zone non saturée commandent l'alimentation et l'évolution de la zone saturée, et ceci en montagne aussi bien qu'en plaine. En montagne ces conditions interviennent également dans la genèse des phénomènes à risques, en contrôlant par exemple le degré d'humidité des couches superficielles et en agissant sur leur résistance mécanique.

#### **4.4.2. L'interaction eau-milieu et l'instabilité des pentes**

**L'expérience Rhône-Alpes montre une forte corrélation entre la pluviométrie et le déclenchement ou l'accélération de phénomènes d'instabilité de versants.** Cette corrélation ne correspond toutefois, en sa formulation actuelle, qu'à un indicateur de tendance et ne permet pas de modéliser correctement les mécanismes qui régissent la perte de stabilité. En particulier la relation établie sur un versant entre le rythme des déformations et celui de la pluviométrie ne pourra être extrapolée à un autre versant aussi longtemps que l'on ne descendra pas à un niveau d'analyse plus fin tenant compte du mode et du rythme d'infiltration de l'eau, du ruissellement, de l'état de saturation préalable du sol...

C'est pour contribuer à répondre à ce besoin que le projet PISP (Pluie, Infiltration, Stabilité des Pentés), a été formulé par le BRGM, l'ADRGT, le LTHE et le laboratoire 3S de l'Université Joseph Fourier. Ce projet, qui devrait être développé lors du prochain contrat de plan Etat Région Rhône-Alpes, a pour objectif de **tester une méthodologie de mesure (et de surveillance) des principaux paramètres contrôlant l'interaction entre une pente en état d'équilibre précaire et l'eau.** Les travaux réalisés sur le site de Léaz (Ain), ont commencé en automne 1993

## **5. BILAN ET PERSPECTIVES**

### **5.1. UN BESOIN DE FEDERER DES EFFORTS DISPERSES**

Le contrat de plan Etat-Région Rhône-Alpes 1989-1994 sur les risques naturels en montagne a permis des avancées significatives dans la connaissance des mécanismes de déclenchement des phénomènes générateurs de risques en montagne.

Les équipes de recherche se sont intéressées en particulier, directement ou indirectement, à l'action de l'eau comme agent essentiel, permanent ou aggravant, de ces mécanismes et des acquis importants ont été obtenus dans ce domaine.

Tout en se félicitant de la volonté de collaboration entre équipes qui a accompagné le déroulement de ces travaux, la grande majorité des études ayant été réalisées par des groupes de travail représentant plusieurs organismes, on peut regretter que cette approche interdisciplinaire n'ait pas été poussée plus loin. Des progrès supplémentaires auraient sans doute pu être espérés dans ce domaine de recherche, si ces travaux avaient été menés dans le cadre d'un programme construit et développé en commun par l'ensemble des intervenants.

La qualité des équipes scientifiques présentes dans la région Rhône-Alpes, ainsi que l'importance des besoins scientifiques résiduels liés aux phénomènes générateurs de risques en montagne, rendent souhaitable le renouvellement du contrat de plan quinquennal Etat-Région Rhône-Alpes. L'opportunité d'un tel contrat de plan pour 1994-1999 rend tout aussi souhaitable de rassembler les compétences autour d'un programme commun, concerté et coordonné.

### **5.2. LE CONSTAT DES DIFFICULTES A CONSTRUIRE UN PROGRAMME COMMUN**

Pour définir un programme de recherche il ne suffit pas de recenser des sujets d'études répondant à des besoins scientifiques. Il faut également satisfaire des besoins stratégiques.

La réussite d'un projet transversal "Eau Facteur de Risques" passait par l'établissement d'une forte collaboration entre les partenaires pressentis, par le choix d'objectifs communs clairs et structurés, par le bénéfice mutuel des compétences (expériences, moyens, ou même modes de conceptualisation).

Bien que tous les acteurs concernés par le programme "Eau Facteur de Risques" aient formulé leur propre vision des besoins scientifiques et exprimé une volonté de collaboration, il est resté très difficile de s'accorder sur une stratégie.

De plus, le groupe de travail s'est heurté à des difficultés plus fondamentales, d'ordre structurel et psychologique : peur de diminuer sa liberté de décision et d'action, peur de s'éloigner de son domaine d'étude privilégié, qui ont beaucoup limité la capacité à formuler explicitement un projet commun.

Aucune solution n'ayant, au terme de l'exercice, été trouvée à ces problèmes d'ordre structurel, il reste, à défaut d'une capacité de proposition, à réunir un certain nombre de constatations qui puissent servir à la formulation d'un système de référence (spécifications techniques) pour un futur appel de propositions dans le cadre du prochain Contrat de Plan.

### **5.3. FORMULATIONS D'IDEES DIRECTRICES POUR UN FUTUR APPEL A PROPOSITIONS DE PROGRAMMES DE RECHERCHES CONCERTES**

#### **5.3.1. Un triple objectif**

Le triple objectif assigné à un tel programme devrait être :

- d'améliorer la compréhension des précipitations et de leur répartition spatiale et temporelle
- d'améliorer la compréhension de la circulation et des modes d'action de l'eau en surface et en profondeur
- d'améliorer les modes d'occupation et d'usage des sols de façon à définir de nouvelles stratégies de protection et de prévention face à des événements rares mais possibles : à circonstances exceptionnelles, parades exceptionnelles.

#### **5.3.2. Un milieu commun qu'il faut aborder dans toute sa complexité**

Il faut éviter des programmes qui ne s'intéresseraient qu'à un aspect trop sectoriel des objectifs principaux définis ci-dessus. On a déjà beaucoup souligné combien le milieu est complexe. Il faut assurément que chacun ait la possibilité d'apporter le maximum de ses propres compétences, mais sous contrôle d'une entité (groupe de pilotage ou de suivi) plus active dans le déroulement des programmes que cela n'a été le cas jusqu'ici dans les Contrats de Plan précédents. Il faut éviter en particulier un développement des connaissances dysharmonieux et favoriser au contraire des tâches complémentaires dont on puisse garantir la complémentarité et la pertinence.

#### **5.3.3. L'importance de la structuration, de la consolidation et de la mise à disposition des données pertinentes.**

Une troisième contrainte imposée aux partenaires de tels programmes devrait être la création et la mise à disposition de bases de données validées et structurées sur les résultats acquis et sur les données utilisées. Celles-ci sont en effet très complexes et très diverses et leur collecte correspond à un grand investissement en temps. C'est le cas par exemple pour les enregistrements de données hydro-météorologiques. C'est aussi le cas pour de nombreux types de données géoréférencées qu'il convient de pouvoir échanger sur des systèmes d'information géographique pour éviter que d'autres partenaires qu'elles pourraient intéresser ne soient obligés de s'investir à leur tour sur un travail d'intérêt commun déjà accompli.

#### **5.3.4. La notion de bassins-types et de représentativité spatiale**

Le débat a été animé, au sein du groupe de travail, sur la notion de bassin pilote ou de bassin expérimental et sur la représentativité de tels bassins. Quand on a essayé de dresser une liste de

bassins susceptibles d'intéresser un maximum de partenaires, on s'est très vite aperçu que la représentativité ne pouvait être retenue comme critère de sélection immédiat.

En effet pour sélectionner des bassins représentatifs, il faudrait d'abord disposer d'une typologie de ces bassins, basée sur des critères morphologiques, géographiques, pédologiques, ... pertinents par rapport aux problèmes abordés.

Pour cela il serait nécessaire de réunir une énorme quantité d'informations sur toute une série de facteurs, physiques, socio-économiques, ... sur une zone assez vaste, à l'échelle régionale et d'essayer de dégager, sur des critères significatifs, un certain nombre de configurations représentatives, puis d'échantillonner quelques sites pouvant être considérés comme types pour des études approfondies dont on s'autoriserait ensuite à extrapoler les résultats sur l'ensemble des bassins de même type.

C'est une tâche longue et ingrate, mais il est essentiel de la lancer si l'on veut arriver un jour à des résultats applicables opérationnellement.

#### **5.3.5. L'importance des observations et constats en retour**

On ne dispose pas assez d'analyses en retour d'événements significatifs du passé. Même quand une tragédie se produit, l'essentiel des moyens mobilisés va à l'indemnisation des victimes, mais on n'investit que très rarement sur la collecte, au moment où l'événement se produit, d'informations scientifiques sur le phénomène proprement dit. On n'accorde pas non plus assez d'importance, sauf peut-être dans le milieu des géographes à toute la source d'information disponible dans la mémoire des habitants.

Il paraît donc souhaitable qu'une place soit réservée dans les futurs programmes à ce type de démarches.

#### **5.3.6. Vers de nouveaux moyens métrologiques**

Dans un milieu physique complexe et devant des phénomènes complexes, il faut être capable de multiplier les mesures de paramètres essentiels : c'est un vieux problème.

Mais ces mesures coûtent cher. On arrive bien difficilement à mobiliser un nombre de capteurs suffisant sur un "site expérimental". Il est donc bien difficile d'envisager la mise en place de réseaux à une échelle plus vaste.

Il faut donc agir dans deux voies complémentaires :

- la première est la sélection des points les plus sensibles, ceux où l'instrumentation doit être concentrée
- la deuxième est celle de la standardisation et de la vulgarisation des capteurs et systèmes de mesure. Cette réflexion avait déjà été menée dans le précédent Contrat de Plan, et un programme avait été lancé pour essayer de mettre au point des spécifications communes à tous les acteurs scientifiques en matière de systèmes de surveillance. Malheureusement ce programme a finalement été consacré à une approche beaucoup trop sectorielle du problème posé.

Mais il convient de relancer cet axe de recherche interdisciplinaire. Cela pourrait conduire des industriels à s'intéresser à un marché qui s'élargirait singulièrement avec l'effort de

standardisation et de vulgarisation souhaité. De nombreux pays étrangers, en voie de développement attendent de tels progrès technologiques.

#### **5.3.7. Une approche cognitive**

On a souligné à plusieurs reprises dans les précédentes parties combien il fallait être capable de mobiliser non seulement les efforts des divers spécialistes des sciences de la terre et de l'eau pour obtenir de bonnes modélisations des phénomènes, mais aussi toute l'expérience des mêmes spécialistes et des praticiens quand aucune solution logique ou algorithmique n'existe au problème posé.

De nombreux efforts ont déjà été consentis en Rhône Alpes autour de ces développements cognitiques, aussi bien en ce qui concerne les mouvements de terrain que les avalanches et la circulation de l'eau, ou même la gestion des situations de crise. Il faut les fédérer. Il est vivement souhaité en particulier, qu'un lien soit créé entre le programme transversal "Eau, facteur de risque" et un autre programme transversal pressenti autour des méthodes cognitives.

#### **5.3.8. La connaissance du milieu physique, en surface et en profondeur**

La majorité des travaux accomplis au titre des précédents contrats l'ont été sur des méthodes de type pluie-débit (les recherches sur la rhéologie des laves torrentielles en sont le contre-exemple !). A l'exclusion des mécaniciens des sols impliqués dans le programme sur les mouvements de terrain, peu de chercheurs ont travaillé, au moins dans le cadre du Contrat de Plan, sur les aspects physiques du milieu et sur des approches déterministes. Une fois réalisée la structuration et la consolidation des connaissances évoquée en 5.4.3, il conviendra, sur la base des données réunies, et sur la base des outils de type S.I.G et M.N.T, de favoriser le développement de nouvelles recherches sur la modélisation du milieu.

#### **5.3.9. Les techniques d'investigation sur le milieu non saturé, en surface et en profondeur**

Un des obstacles majeurs au développement de ces recherches et des méthodes correspondantes est lié au fait qu'il est très difficile et très coûteux de réunir suffisamment de données sur le sous-sol pour représenter l'hétérogénéité de celui-ci et en tenir compte dans la modélisation. C'est particulièrement vrai pour l'appréciation du degré de saturation des sols, aussi bien en surface qu'en profondeur. Or c'est là un élément très important de la compréhension du ruissellement et de l'infiltration.

Il faut donc favoriser le développement de techniques d'investigation et de méthodologies de mesures, directes ou indirectes de ce degré de saturation.

#### **5.3.10. Les potentialités de retour à des caractéristiques régionalisées, à des fins opérationnelles.**

On insistera enfin, au titre des finalités du programme, et bien que cela ait déjà été souligné en 5.3.4, sur la nécessité d'avoir des propositions à fin appliquée et dont les applications puissent être régionalisées. Ainsi par exemple, serait-il souhaitable, à l'intérieur de deux ou trois régions-pilotes, d'arriver à la notion déjà évoquée de bassins versants représentatifs et à celle de réseau de mesure et de surveillance à maille variable, mais d'intérêt régional. Ce n'est qu'en créant progressivement et harmonieusement une série d'expériences réussies et s'appuyant sur des

applications opérationnelles que l'on peut espérer maîtriser progressivement l'eau comme facteur de risque en montagne.

#### **5.3.11. Réflexions juridiques et administratives sur la gestion des eaux de ruissellement.**

Dans l'organisation spatiale du drainage des eaux superficielles, il existe aujourd'hui un certain nombre de règles d'origine techniques ou juridico-administratives assez mal adaptées aux conditions extrêmes. Faut-il par exemple dimensionner des réseaux d'assainissement pluvial pour des pluies centennales ? La réponse est non. Faut-il pour autant ne rien prévoir ? La réponse est également non. Entre les deux, on peut espérer se préparer, d'un point de vue légal autant que d'un point de vue technique à des dispositions particulières qui pourraient être mises en oeuvre lors de conditions exceptionnelles et dont l'application pourrait se trouver justifier par un arrêté authentifiant ces circonstances.

Il faut donc favoriser une collaboration entre spécialistes des sciences de la terre et de l'eau, praticiens et juristes autour de ce thème.

**ANNEXE**

**CONTRIBUTIONS ECRITES DE CERTAINS DES PARTICIPANTS  
AUX DIVERSES REUNIONS DU GROUPE**

## 1. LES SUGGESTIONS INITIALES DU BRGM POUR LA STRUCTURATION D'UN PROGRAMME TRANSVERSAL.

### 1.1. LE PROGRAMME EVOQUE

Ces suggestions sont seulement données ici sous forme de tâches liées entre elles et qu'il faudra compléter. L'ambition n'est que de donner un guide pour que chacun apporte sa propre contribution.

**Tâche n°1 :** Sélectionner quelques bassins pouvant être considérés comme représentatifs, sous réserve de vérifications ultérieures.

**Tâche n°2 :** Réunir toutes les informations disponibles relatives à l'environnement physique de ces bassins:

- morphologie,
- pédologie,
- géologie,
- couvert végétal,
- drainage superficiel,
- mode d'occupation du sol et son évolution,
- conditions climatiques,
- données hydrauliques...

**Tâche n°3 :** Confirmer la représentativité du bassin choisi dans son contexte régional.

**Tâche n°4 :** Mettre au point un modèle tridimensionnel de représentation de la surface topographique et de calcul du ruissellement superficiel.

Ce modèle, basé sur la détermination de MNT aussi précis que possibles constituera le lien entre les diverses équipes concernées.

Le calcul du ruissellement se fera selon les méthodes déjà décrites en bibliographie ; il devra prendre en compte les spécifications des divers intervenants. Il prendra aussi en compte sous forme de cartes la connaissance des divers paramètres de surface qui conditionnent l'écoulement superficiel et sub-superficiel. Ces cartes seront traitées avec l'incertitude attachée aux contours de façon à pouvoir tester la sensibilité de la réponse à la variabilité des hypothèses.

**Tâche n°5 :** Réaliser, par le biais d'une analyse multicritères et la mise en oeuvre de règles d'expertise, pour chaque forme potentielle de dégradation des pentes, une localisation des zones présumées les plus fragiles.

**Tâche n°6 :** Déterminer, par une analyse de même type les zones intéressantes du point de vue de la "régionalisation" des pluies et des formes principales d'écoulement superficiel ou d'infiltration.

Il est clair que les tâches n°6 et 7 ci-dessus ne sont affichées ici que comme des objectifs: leur mise en oeuvre exigera la définition de programmes spécifiques et une quantité de travail importante.

Mais le point important est de faire porter l'effort de compréhension, de mesure et de surveillance sur des zones sensibles en nombre limité.

**Tâche n°7 :** Définir des programmes spécifiques d'investigation et de surveillance sur ces zones :

- définir des procédures de saisie, mémorisation, télétransmission et traitement des données,
- proposer des modes d'interprétation et, éventuellement, les adapter aux préoccupations des autres participants.

**Tâche n°8 :** Assurer le suivi et l'interprétation pendant deux à trois ans de la surveillance des zones équipées.

**Tâche n°9 :** Compléter éventuellement les réseaux de surveillance, ou les modifier, en fonction des premiers résultats obtenus.

**Tâche n°10 :** Mettre au point à terme de trois ans une méthodologie de surveillance du rôle de l'eau dans la génération ou l'aggravation des phénomènes naturels générateurs de risques en montagne, méthodologie définie à l'échelle d'un bassin versant, et portant sur la définition:

- de l'extension spatiale présumée des zones exposées aux conséquences dommageables d'un type de phénomène déterminé (avalanches, crues torrentielles, crues, divers types de déformation du sol, propagation de masses de terrain),
- des conditions temporelles d'occurrence ou de retour de circonstances hydro-météorologiques exceptionnelles, avec la définition des seuils (intensité, durée, fréquence) associés.
- des réseaux et systèmes de mesure à mettre en oeuvre pour surveiller:
- dans les zones critiques, l'eau facteur permanent de prédisposition au risque: capteurs de déformation, capteurs de teneur en eau en surface et en profondeur, capteurs de pression, mesures de débit...
- dans les périodes critiques, l'eau facteur aggravant ou déclenchant de phénomènes générateurs de risque: pluviométrie, températures, débit.

## **2 .REFLEXIONS PREALABLES DE LA DIVISION HYDROLOGIE-HYDRAULIQUE DU CEMAGREF DE LYON**

Voici quelques éléments destinés contribuer à la création d'un programme transversal de Recherche sur les Risques Naturels liés à l'Eau et à ses excès (Inondations, Erosions torrentielles, Glissements de terrain, certains risques Nivologiques, etc...), initié par une problématique Montagne et lancé sous contrat de Plan (X ème) Etat-Région Rhône-Alpes, mais à vocation internationale et susceptible de transférer ses résultats et ses outils hors de la zone d'initiation.

Ils s'inspirent des réflexions menées autour de la réunion du 18.3.91 (Lyon) du CST de ce programme "Risques Naturels X ème Plan", organisée par le secrétariat permanent de ce programme (Pôle Grenoblois des Risques). Ils émanent du laboratoire coordinateur du thème "Crues en Rivières et Inondations en Vallées" (division Hydrologie-Hydraulique du Cemagref, groupement de Lyon), et sont élaborés dans l'objectif de construire un programme d'intérêt commun à toutes les thématiques "Eau et Risques".

### **2.1. QUELQUES CRITERES GENERAUX QUE DEVRAIT SATISFAIRE UN TEL PROGRAMME :**

a) être piloté par un laboratoire compétent dans plusieurs (tous ...) des domaines concernés, mais aussi expérimenté en tâches de synthèse et de transfert vers les usagers ; motif : programme complexe, qui sera beaucoup plus difficile à gérer qu'à créer I

b) parrainages et soutiens multiples, par sécurité, car il est impensable de lancer un tel programme avec un financement de type "poker" (comme par exemple les appels d'offres CCE) ;

c) avoir une problématique centrée sur l'eau, bien sûr, et en particulier ses excès' (en volume, durée et intensité). Il s'agira plus précisément de "l'eau sur et dans le sol" et des causalités de ses entrées (prioritairement pluies, dispositions topographiques et sol+couverture) et de ses sorties (prioritairement drainage et écoulement) ;

d) travailler à diverses échelles d'espace, et donc de temps, ce qui exige l'intervention de diverses équipes, les compétences des spécialistes étant le plus souvent-limitées à une plage d'échelles donnée ;

e) avoir en permanence, et en particulier dès le début, un programme de synthèse, spécifique de cette action transversale et à la charge d'un pilote spécifiquement désigné ; synthèse à faire progresser, à actualiser et à diffuser périodiquement, au même titre que les programmes spécialisés.

f) prise en compte permanente, et pour tous les thèmes (synthèse incluse), de la dimension "Ressource" (ressources en eaux), omniprésente dans les Risques liés à l'Eau : le programme ne doit pas développer des potentialités de prévention et de protection qui n'examineraient pas en détail leurs effets pervers (fréquents) sur la ressource ; il faut inclure dans le programme cette contrainte pour développer des connaissances et outils capables, soit de co~penser ces effets pervers, soit de trouver un équilibre entre la prévention du risque et le développement de la ressource en eau ;

g) Promouvoir les notions de "**continuité, étalement et relativité**" du risque, au détriment de la notion établie, trop simpliste et fallacieuse, de "risque de projet". Pour cela, développer des outils et connaissances privilégiant, d'une part, la simulation de toute la plage de fréquence du risque concerné (de la fréquente, aisément observable, à la rarissime, presque inobservable) et, d'autre part, l'analyse détaillée et diversifiée des besoins de protection ; en corollaire, quantifier (mesurer) et modéliser ces deux aspects de manière comparable, pour pouvoir les croiser (risques subis avec demandes de protection) et en tirer dès éléments concrets d'action ; celle-ci devrait concerner, par ordre de priorité décroissante, et le choix des recherches menées peut en tenir compte : l'aménagement, puis la prévention et, en dernier lieu, la prévision, limitée aux besoins qui n'auraient pas pu être satisfaits par les deux premières actions ;

h) si possible, assurer une relative unité de lieu pour les expérimentations nécessaires, depuis les zones glaciaires et nivales amont, ainsi que les travaux ponctuels et à la parcelle, jusqu'aux bassins versants et rivières de vallées (voire fleuve...) inclus ; cette contrainte étant très difficile à satisfaire, on pourra faire appel à la notion de "satellites", parfois utilisé dans les BVRE, pour raccrocher au dispositif principal des lieux d'expérimentation éloignés. Peut-être faudrait-il sortir de la région Rhones-Alpes.

## **2.2. QUELQUES THEMES TRANSVERSAUX PARRAISANT FAISABLES, INSPIRES DE LA PROBLEMATIQUE INONDATIONS**

Ils sont, à quelques exceptions près indiquées, présentés selon un ordre décroissant de faisabilité apparente, les premiers étant, au moins en partie, déjà initiés. Il est souvent fait référence au projet dit FRIEND-AMHY, créée à l'initiative de la France, qui le pilote depuis Lyon avec une coordination nationale (7 laboratoires) sous la forme d'un GIS. Tous ces thèmes participent de manière significative à la connaissance des risques concernés ici, et pas seulement aux risques de crues et d'inondations.

a) p.m. : les acquis des travaux menés jusqu'à présent, sous IX<sup>ème</sup> et X<sup>ème</sup> Plan (et avant ou ailleurs), dont la synthèse vers une problématique transversale n'a pas encore été faite ;

b) **modèles descriptifs des écoulements à toutes échelles d'espace** : l'intersection des programmes actuels AGREGEE (estimations des écoulements rares et extrêmes) et QdF (modèles descriptifs dédiés à l'estimation des écoulements de toutes durées et pour toutes surfaces, très petites incluses, à diverses fréquences dont les rares et extrêmes), permet d'établir un lien entre la parcelle, le versant et le bassin, pour un ensemble globalement homogène et pour des situations à forts excès d'eau (processus alors simplifiés, les effets de seuils étant réduits) ; il s'agit d'une approche qui ressemble à la vieille et simpliste approche des "débits spécifiques", mais considérablement enrichie et diversifiée, donc beaucoup plus valide, y compris pour des surfaces participantes qui ne sont pas des bassins (versants) ou qui n'ont pas de réseau hydrographique drainant leurs écoulements ; une expérimentation sur parcelles, ou sur très petit bassin, serait nécessaire pour ce thème, les grandes surfaces, à partir de quelques dizaines d'ha, étant calables à partir de données aval existantes ; collaboration acquise au niveau international (un des thèmes de lancement de FRIEND-AMHY), et aussi de la part de laboratoires d'hydrologie urbaine nationaux (sous GIS AMHY) ;

c) **régionalisation des pluies** : afin d'étoffer les échantillons pour mieux en extraire des valeurs rares et extrêmes ; ce thème gagnerait à être programmé en même temps que d) ; il pourrait

exploiter les outils élaborés en Epicentrage ; il devra s'intéresser à la fois aux "IdF" (pluies courtes et intenses) et aux "Pa" (séquences pluvieuses sur de plus longues durées), et à la liaison entre les deux : les situations les plus catastrophiques résultent de fortes "IdF" tombant sur des sols saturés par de récentes "Pa" ; des données, tant nationales (IdF alpines en cours) qu'internationales (IdF italiennes sous projet FRIEND-AMHY) sont potentiellement disponibles, sous réserve d'échanges inter-organismes et internationaux (objectif d'AMHY) ; les effets pervers de la régionalisation (lissage spatial) peuvent être corrigés par l'application de modèles micro-climatiques de type TPG (sous X<sup>ème</sup> Plan) ;

**d) situations hydroclimatologiques à risques** : initié dans le cadre du projet actuel TPG, avec Météo-France, ce thème demanderait à être développé et poursuivi au-delà des seuls besoins du modèle conceptuel objet du projet TPG ; au-delà de la climatologie, on peut aussi aborder les aspects météorologiques de prévision à court terme (voir f) ; les collaborations nationales et surtout internationales (AMHY, Catalogne, etc...) sont quasi-prêtes ;

**e) fontes des stocks de neige** : prévu de longue date, ce thème a toujours été repoussé pour motif d'insuffisance de moyens (ressources humaines), alors que les expériences et outils pour l'initier existent (à EdF et IMG, entre autres) ; il est sensible au choix du site commun, et le BVRE des Arcs serait peut-être adéquat ; il pourrait également bénéficier des outils développés en Nivologie (photogrammétrie pour les stocks en place) et peut-être du radar hyperfréquence embarqué sur ERS-1 (voir g) ;

**f) aspects prévisionnels opérationnels** : lui-même "transversal" à l'intérieur de tous les autres, il n'apparaît qu'ici car ces aspects de connaissance à court terme, en temps réel, nous paraissent devoir passer après la recherche de connaissances exploitables pour l'aménagement rationnel et la prévention des risques. Il faut prioritairement donner aux responsables concernés (usagers compris) le goût et les moyens d'apprécier, de contrôler et d'éviter les dérives de l'aménagement et de l'occupation des sols, qui engendrent justement des situations où la prévision à court terme apparaît, malheureusement à posteriori, certes comme la seule réaction possible face au risque, mais surtout comme un constat d'impuissance et d'imprévoyance.

Ce thème fait appel à des aspects technologiques et informatiques, et pourrait bénéficier de travaux déjà réalisés par ailleurs (LHF, EdF, IMG, ...) pour des risques bien délimités (prévisions de crues, météorologie, avalanches, etc...) ; il faudrait investiguer vers un certain nombre d'indicateurs des seuils que les recherches en cours mettent en évidence comme pertinents dans le déclenchement des phénomènes ; on peut imaginer que ce thème aborde les problèmes de réseau opérationnel de surveillance (à partir d'observatoires dont des pilotes peuvent être domiciliés sur les sites communs choisis), exploite entre autres les bases de données "risques" en cours de création (BRGM, programme Epoch acquis), et propose une organisation permettant aux utilisateurs de faire rapidement appel à des spécialistes en cas de risque exceptionnel, ou pour tout diagnostic difficile ;

**g) les eaux dans les sols et leurs processus d'écoulements** : ce thème est évidemment prioritaire et au cœur du programme ; il n'est ici qu'en 7<sup>ème</sup> position, pour une raison particulière ; il ne pourra progresser en effet, par rapport aux recherches actuellement menées çà et là, que si le programme est capable de développer une instrumentation relativement lourde et pérenne sur le(s) site(s) pilote(s) souhaité(s) (cf par. 1h), même si la télédétection (radar sur ERS-1 déjà cité) peut assurer une part de la couverture spatiale et limiter les équipements au sol à quelques points-pivots ; l'utilisation, ou au moins la coordination, avec des "satellites" lointains (Draix, Réal, BVRE sur coteaux de plaine, etc...) paraît ici indispensable, compte tenu de la lourdeur des protocoles expérimentaux nécessaires, et de l'hétérogénéité spatiale qui sévit ici à toutes échelles ; l'abondance des données et l'obligation d'une diffusion assez large (interprétation sous diverses spécialités, valorisation développée compte tenu de leur coût) exigerait de mettre en place un

système performant de gestion des données recueillies, tel qu'il est prévu pour les données BVRE ( projet BRECHE) ; les données des autres thèmes bénéficieraient évidemment de tels outils de gestion (s'ils sont opérationnels à temps pour ce programme) ;

h) modèles bidimensionnels d'écoulements catastrophiques : bien que les équations dynamiques d'écoulements exceptionnels (laves, avalanches, aérosols, transitoire rapide en liquide newtonien, hyperturbulents, etc...) puissent être diversifiées avec les propriétés des fluides concernés, de nombreux aspects peuvent être communs, comme le type de modélisation des géométries, la présentation des données, l'entrée des conditions aux limites et initiales, la visualisation des propagations, etc...; au moins ces aspects communs mériteraient de figurer à ce programme transversal ; S 'y ajoutent évidemment autant de thèmes spécialisés que de types de fluides à modéliser, avec toutefois des intérêts communs comme ceux liés au torrentiel et à l'érosion : on sortirait alors du projet transversal sensu stricto, mais la bonne exploitation de la partie commune exigerait que ces modules spécialisés soient pour le moins programmés en concomitance, s'ils ne peuvent l'être strictement sous ce programme transversal ;

i) **demandes de protection explicites, réalistes et solidaires, c'est à dire raisonnées** : le rang tardif de ce thème est lié à son aspect finalisé, et non à une priorité secondaire : il est évidemment essentiel ; c'est celui qui est le plus lié aux critères énoncés au par. 1), et en particulier les points e), f) et g) ; il est également à lier à des programmes déjà en cours (X ème Plan) sur lesquels il faudra l'articuler ; il passe par l'acceptation de **mesures quantifiées et objectives** qui doivent être communes aux demandes, aux risques, aux scientifiques et aux socio-économistes (ou juristes) ; il doit déboucher sur des affichages cartographiques lisibles, clairs et très largement diffusés, informant sur les résultats des croisements "demandes/risques" ; ces documents doivent être purement informatifs et non contraignants, l'objectif étant d'informer, d'éduquer, de sensibiliser et de motiver, la réglementation ne pouvant être comprise et mieux respectée qu'après ; la prévention des risques n'étant jamais neutre ou facile, ce thème devra s'attacher à démontrer les indispensables solidarités "amont-aval", fussent-elles à négocier entre les collectivités concernées ; celles-ci doivent trouver dans les résultats de ce thème des aides à la décision, et des éléments quantifiés de négociations, communs aux domaines mesurables économiquement et aux domaines où les approches économétriques sont impossibles ou fallacieuses ; un programme comme Inondabilité montre que des pistes nouvelles sont possibles dans ce sens, et ce thème parait donc faisable.

## **2.3.MONTAGE DU PROGRAMME**

De telles propositions devraient être faites par toutes les parties concernées. Une première synthèse très rapide et provisoire, bien sûr avec un tri et donc des éliminations, permettrait d'avoir une ébauche de programme déjà présentable hors le groupe actuel (X ème Plan Rhône-Alpes), pour collaborations (France et Europe), parrainages (DRM, Décennie Risques, ...) et financements ; si possible pour l'été ou le début ~ de l'automne. Le véritable programme, avec une structuration des thèmes élémentaires, des collaborations fermes et des soutiens, demandera plus de temps. Il y aura sans doute-une liaison à faire avec l'éventuel programme transversal "météologie", en particulier pour les points lh et 2g.

### **3. REFLEXIONS PRELIMINAIRES DE LA DIVISION PROTECTION CONTRE LES EROSIONS DU CEMAGREF DE GRENOBLE (MAI 1991)**

Dans le but de dégager les objectifs d'un programme transversal au titre des thèmes concernés par le fluide "eau", nous allons tenter de préciser les questions posées par l'"eau" aux spécialistes concernés par l'érosion et l'hydraulique torrentielle.

#### **3.1. L'EXAMEN DE QUELQUES PROBLEMES VUS A PARTIR DE L'EROSION ET DE L'HYDRAULIQUE TORRENTIELLE**

##### **3.1.1. Pluviographie,**

La connaissance de la pluie, chiffrée en probabilité et pour des durées allant de 5 min à la journée et plus, est primordiale pour les projets de correction torrentielle. Les dépouillements des pluviographes des Alpes, en cours, apporteront une information précieuse à ce sujet, Les problèmes d'évolution spatio-temporelle, notamment la connaissance des gradients d'altitude, les coefficients d'épicentrage resteront à étudier,

Les sujets ci-dessus dérivent d'une optique classique de prédétermination des crues pour des projets de prévention, ce qui montre le retard de la connaissance en pluvio de "montagne" par rapport à la pluvio de "plaine" où ces sujets ont déjà été abordés.

Une autre optique, plus "dynamique", consiste à étudier la dynamique des précipitations des perturbations en montagne : à relier à ce qui est déjà fait (TPG, Radar météo) comme études sur ce sujet ; les retombées ~de ces connaissances nouvelles concernent surtout la prévision et éventuellement l'alerte.

Conséquences d'une action sérieuse sur ces sujets, surtout pour le point de vue "dynamique" : l'équipement de quelques petits bassins de montagne en pluviographes, mitoyens~ avec une forte densité à déterminer, puis leur suivi sur une longue durée.

##### **3.1.2. Fonte de la neige :**

Thème déjà abordé par d'autres organismes (IMG, EDF-DTG, LAMA, CEN, CEMAGREF NIVO ) ; et pourtant le traitement du problème de fonte des neiges dans les projets de prévention semble toujours aussi précaire ; une action préliminaire de synthèse de la connaissance existante est nécessaire avant de proposer des dispositifs d'observation et d'études nouveaux ou des prolongations de dispositifs existants.

Par contre, en matière de prévision éventuelle, le problème est plutôt de savoir comment cette fonte des neiges prépare les sols à l'érosion hydrique future , laves torrentielles comprises. Un site d'observation pourrait être équipé pour cela, soit en complément des sites existants (Draix, Les Arcs, autre site géré par EDF-DTG?), soit un site nouveau à déterminer. Néanmoins, une réflexion approfondie est nécessaire pour savoir quoi observer et comment. L'accent est en effet à

mettre ici sur l'échelle réduite d'observation (genre parcelle Wischmeier) par opposition aux autres dispositifs existants (mesure ponctuelle comme les perches ou les télémètres, prise alors comme un index de calage de modèle de prévision, ou observation d'ensemble par radar ou photos satellite).

### **3.1.3. L'eau superficielle sur les versants :**

Thème éternel de l'hydrologie de surface, on peut le proposer pour l'érosion torrentielle puisque les écoulements de surface provoquent de multiples formes d'érosion ; deux optiques peuvent être abordées pour des améliorations à l'état actuel des connaissances : d'une part, la prise en compte de l'état hydrique des sols pour faire progresser les modèles de simulation (Cf les travaux faits sur l'Orgeval et sur le Réal Collobrier); d'autre part, la connaissance des seuils de ruissellement en fonction de la nature des sols et de leurs couverts.

On entre là dans la problématique des BVRE avec leurs conséquences inéluctables en matière de ressources humaines et financières et la nécessité de travailler sur une longue durée ; l'unité d'espace serait le petit bassin versant torrentiel (ou plusieurs ?).

Autre thème lié à celui du ruissellement : celui de la détermination de l'ablation unitaire de l'érosion en fonction de l'importance du ruissellement.

### **3.1.4. L'eau superficielle dans les biefs de torrent**

L'hydraulique torrentielle est une discipline scientifique qui est plus ou moins en développement : de très nombreux (et difficiles ) problèmes doivent être étudiés à la fois dans le domaine de la connaissance des écoulements (laves torrentielles et écoulements hyperconcentrés) et dans celui de la dynamique et la morphologie torrentielle. Les synergies à attendre sur ce thème entre les trois volets intéressés par l'eau (crues en rivière, érosion et hydraulique torrentielle, mouvements de terrain) semblent relativement faibles sur le plan des problématiques scientifiques ; par contre, elles peuvent exister sur le plan des sites d'observation.

Les outils existants à l'heure actuelle en hydraulique torrentielle ne comprennent pas d'observatoire de terrain des laves torrentielles, ni d'observatoire de l'évolution de la morphologie torrentielle dans le cas d'un torrent haut alpin, essentiellement façonné par les écoulements d'eau claire et les charriages hyperconcentrés. Installer, équiper de tels sites, puis les observer pendant un temps suffisant, fait entrer dans la problématique des BVRE, dont on a parlé ci-dessus, mais avec un ciblage précis, qui devrait s'avérer très contraignant pour le choix d'un site éventuel.

## **3.2. L'EXAMEN DE QUELQUES THEMES TRANSVERSAUX A PRIORI.**

Les réflexions suivantes s'appuient sur la lecture de la note établie par le groupe Hydrologie Hydraulique

### **3.2.1. Les modèles descriptifs des écoulements**

Axé sur les méthodes avant de se pencher sur les domaines de la connaissance, ce thème recoupe le 3ème thème ci-dessus, mais avec l'optique délibérée de faire le pont entre les tailles de validité des modèles à différentes échelles spatiales, donc se pose d'emblée comme étant transversal ; il

l'est sans conteste entre les volets "crues en rivières" et "érosion et hydraulique torrentielle"; cela semble moins sûr pour la partie "mouvements de terrain". Une analyse rapide devrait dire le degré de synergie entre les modes d'appréhension des modèles descriptifs entre les trois volets et également les différences : quoi de commun entre l'utilisation des "réservoirs" dans GR2 ou GR3 auxquels les auteurs refusent une signification physique déterministe et les "réservoirs sols" très déterministes dont on obtient les caractéristiques par simulation de pluies, par exemple.

### **3.2.2. Situations hydroclimatologiques à risques**

Thème transversal évident, une étude préliminaire pourrait dire les parentés et les synergies et les points obscurs à faire progresser ; les complémentarités ne portent d'ailleurs pas forcément sur les situations (différences des échelles de temps et d'espaces, rôle différent de la pluviométrie) mais sur l'intrication des risques due à une configuration spécifique sur le terrain : un glissement de terrain obstrue une vallée ou une érosion torrentielle affouille le pied d'un glissement et l'active.

Pour être fructueux, ce thème doit s'affranchir des contingences géographiques et se concentrer sur les situations hydroclimatologiques : dégager par exemple, les convergences de déclenchements de situations catastrophiques dans chaque thème lorsque les situations hydroclimatologiques deviennent extrêmes.

### **3.2.3. Aspects prévisionnels**

A relier avec le thème précédent pour la partie "phénomène physique".

Rien à rajouter par rapport à ce qui est écrit par le Groupe de travail "crues en rivières".

### **3.2.4. L'eau dans le sol**

.Simple petit complément par rapport à ce qui est écrit par les collègues "crues en rivière" :

A remarquer d'abord que ceux qui s'intéressent à l'eau en surface n'ont besoin de connaître l'eau dans le sol qu'à travers son complément et que les choses deviennent d'autant plus claires pour "l'eau en surface" qu'on se rapproche des situations à risques, donc de fort écoulement, et qu'alors, on a moins besoin de connaître le devenir de l'eau dans le sol.

A remarquer ensuite, que si on raisonne en terme de seuils à connaître, on doit pouvoir admettre que les seuils de ruissellement et d'érosion de surface sont assez voisins, mais vraisemblablement, ils diffèrent des seuils de rupture des glissements de terrain sauf cas particulier de terrain entièrement granulaire. (Ceci serait à démontrer d'ailleurs).

Cela témoigne de la difficulté d'un tel thème qui doit être soigneusement préparé si on ne veut pas faire études et mesures seulement pour le plaisir, alors que celles-ci seront particulièrement difficiles. Un tel thème semble très intéressant, mais très ambitieux et risqué.

### **3.2.5. Modèles bi-dimensionnels**

Pour nous, les problèmes sont d'abord la connaissance des phénomènes physiques (Cf 4ème thème ) avant de les modéliser, même si on effectue déjà des modèles.

Ceci étant, comme thème transversal, cela n'apparaît pas prioritaire ; par contre, cela conditionne l'efficacité des utilisations futures (compatibilité) et une action d'harmonisation apparaît

souhaitable, mais je ne vois pas bien ce que les collègues "mouvements de terrain" pourraient faire ici sauf à l'interface entre les thèmes.

### **3.2.6. Demandes de protection**

D'accord avec ce qui est écrit par les collègues "Crues en rivière" avec une nuance importante : cette problématique n'est pas spécifique des volets concernés par l'eau mais de tous les domaines où on raisonne sur une protection contre les risques. Dès lors, le choix de ce thème dans un projet transversal perd de sa pertinence

#### **4. INTERET ET POSSIBILITES DU CENTRE D'ETUDES DE LA NEIGE POUR LE PROJET**

Le CEN est intéressé par une collaboration avec d'autres organismes sur le projet transversal concernant l'eau comme facteur de risque. L'approche pluridisciplinaire que peuvent ainsi mener plusieurs laboratoires différents est indispensable dans un tel projet qui regroupe de nombreux points d'intérêt.

Le domaine d'étude du CEN est principalement l'étude du manteau neigeux et ses interactions avec les conditions météorologiques, aussi sa contribution pourrait être centrée sur l'eau de fonte ou de rétention en résultant. Les problèmes concernant l'estimation des précipitations à échelle fine ainsi que leur climatologie doivent être élargies à d'autres partenaires (autres services de METEO-FRANCE, LTHE ...) au sein du groupe; mais leurs prévisions sont un sujet difficile et à priori peu soluble dans un proche avenir.

Le CEN a validé un ensemble d'outils scientifiques qui permettent le suivi du manteau neigeux à l'échelle du massif en incluant les notions de pente, de versant et d'altitude.

Ces moyens pourraient être développés dans le cadre d'une étude concernant un bassin versant de pas trop petite taille. Cette adaptation à une échelle plus fine constitue un effort de recherche important impliquant un volet de modélisation numérique et une expérimentation terrain qui inclut un effort d'instrumentation assez complet.

Il serait en effet nécessaire de pouvoir disposer de données à caractère météorologique couvrant bien la variabilité climatique du site (altitude, versant) pendant au moins une année. Les paramètres nécessaires sont la température, le vent, l'humidité, les précipitations et différents flux de rayonnement ainsi que la hauteur de neige; un ensemble lysimétrique est aussi à prévoir. Le problème du transfert et du stockage de l'information est aussi à envisager.

D'autres recherches, menées actuellement au CEN en laboratoire, sur la teneur en eau liquide de rétention de la neige pourraient entrer éventuellement dans le cadre de ce projet.

## 5. REFLEXIONS PREPARATOIRES DE LA DIVISION PROTECTION CONTRE LES EROSIONS DU CEMAGREF DE GRENOBLE POUR LA REUNION DU 6/7/92 A GRENOBLE

### 5.1. LIAISON ENTRE LES ECOULEMENTS SOUTERRAINS ET SUPERFICIELS

#### 5.1.1. Points scientifiques

**Hydrologie de crue :** affleurement de la zone saturée pour connaître le ruissellement. Liaison avec la notion de surface participative. Bilan pluie - ruissellement - écoulement hypodermique (?), profond (?).

**Mouvements de terrain :** Evolution de la zone saturée et liaison avec la zone non saturée pour connaître (suivre ?) les mouvements de versants Quels mouvements : superficiels ou profonds ?, de quelle extension ? . etc...

#### **Erosion torrentielle :**

- 1) Dynamique des ruptures de berges et/ou de versants raides pour prévoir (?), prédéterminer (?) les occurrences (et l'ampleur ?) des laves torrentielles (Cas de la Ravoire) .
- 2) Problème similaire de déstabilisation (en grand) de lit torrentiel par affleurement de nappe (Cas des Conques de Vernet-les-Bains).
- 3) Problème du ruissellement sur des petits bassins de montagne (avec fort contraste de couvert végétal)

**Crues en rivières : ,**

**Autres: ?**

#### 5.1.2. Questions ponctuelles d'ordre général

Peut-on préciser l'importance pratique des problèmes scientifiques que l'on souhaite résoudre ?

#### 5.1.3. Questions transversales d'ordre général

Les points scientifiques évoqués ci-dessus recouvrent-ils les mêmes domaines du milieu naturel : mêmes zones ?, même gamme de pente ? même profondeur du niveau saturé ? . même type de sols ?

Les problématiques scientifiques se recoupent-elles ? Sont-elles complémentaires ?  
(Par exemple faut-il un modèle 3D d'infiltration pour résoudre ces problèmes ? Le même modèle peut-il servir pour les problèmes de rupture et les problèmes d'affleurement ? Les modèles à utiliser sont-ils de type physique ou hydrologique ? etc...)

Y a-t-il des rapprochements à faire "a priori" entre certaines de ces problématiques et par quels moyens : confrontation d'experts ?, analyse bibliographique (par exemple en tenant compte des travaux sur les échanges nappe-rivières) ? mise en commun de données connues des uns et pas des autres ?

#### **5.1.4. Questions Instrumentales pour chaque point.**

Quel type de surface faut-il équiper: transect ? deux dimensions ? pente ? couvert végétal ? extension de la surface ?

Avec quels appareils: piézo ? tensiomètres ? mesures de teneur en eau (superficiel ou profond) ?, mesure de débit superficiel ?, pluviographes ? autres comme la géotechnique ?

Veut-on appareiller pour des expérimentations ou un suivi ? Faut-il prévoir des prélèvements (isotope) ?

Quelle est l'extension du domaine de validité des mesures ? ou : quel nombre de points de mesures faut-il pour appréhender correctement le phénomène physique ? Problème de la représentativité et de la variabilité spatiale de mesures ponctuelles.

Quelle durée faut-il se donner pour obtenir des observations ou des mesures qui répondent aux questions posées ?

#### **5.1.5. Questions Instrumentales "transversales":**

Les sites d'instrumentation définis pour chaque discipline scientifique (superficie, position par rapport à un chenal hydro, pente, couvert végétal, etc..) peuvent-ils convenir aux autres disciplines ?

L'ensemble d'observations et de mesures obtenu pour répondre "au plus juste" à un point scientifique déterminé, peut-il faire progresser les autres points ? Peut-on, en étendant ce cadre instrumental (et comment ? et de combien ?), augmenter l'intérêt des mesures en les rendant utiles aux autres disciplines scientifiques ?

Existe-t'il des sites déjà instrumentés qui soient déjà susceptibles de répondre aux attentes, éventuellement partiellement ?

## **5.2. NEIGE ET PLUIE**

Ce sujet est certainement à débattre de manière plus approfondie par les spécialistes de la neige (EDF DTG, CEN, CEMAGREF Nivo et/ou HHLY, LTHE), sur des points dont je n'ai pas moi-même la connaissance. Je voudrais seulement indiquer que le problème de la prédétermination des crues torrentielles est mal résolu sur ce point : les méthodes existantes (SOCOSE, Synthèse Sud-Est, etc..) donnent le Q10, tous éléments confondus, donc avec l'éventualité d'une concomitance de forte fonte de neige et de forte pluie. Comment extrapoler vers les grandes durées de retour en tenant compte de ce facteur : Gradex des pluies majoré ? Addition d'un débit constant ? Au delà de cet aspect très opérationnel, il y aurait avantage dans le secteur "hydrologie de montagne" à mieux savoir comment les phénomènes de constitution du manteau neigeux et de la fonte, se différencient.

## **6. IDEES DIRECTRICES TIREES DE LA REUNION DU 06/07/92 PAR LA DIVISION PROTECTION CONTRE LES EROSIONS DU CEMAGREF DE GRENOBLE**

1) Le programme peut porter sur de la recherche pointue consistant à améliorer les connaissances sur des phénomènes mal connus ou sur un rassemblement, une éventuelle vérification et une mise en forme des méthodes existantes dans le but d'une meilleure mise à disposition ; il ne faut pas se tromper dans l'affichage du niveau auquel le projet se situera, car les implications en temps et en financement et en difficultés ne sont pas les mêmes et les équipes peuvent également différer.

2) Il est important d'avoir un (ou des) objectif scientifique exprimé clairement : il permettra d'évaluer les retombées opérationnelles et d'en estimer les difficultés de mise en chantier: la démarche logique est par exemple de proposer la modélisation d'un phénomène peu ou mal connu et d'en déduire les mesures à faire pour le valider; ceci est de loin préférable à l'attitude opposée qui consiste à faire d'abord des mesures et à se demander ensuite ce que l'on en fait.

3) Il sera nécessaire de bien définir les échelles d'espace auxquelles on veut traiter le problème choisi: il n'y a a priori guère de possibilités de décider de cette échelle tant qu'on n'a pas décidé du problème.

A titre d'exemple sur l'hydraulique souterraine d'un versant, comme elle a été fort discutée, l'étudier pour améliorer la connaissance d'une crue torrentielle sur un bassin de 300 km<sup>2</sup>, n'appelle pas forcément le même type de questions, donc de niveau de précision, et de types de mesures que lorsqu'il s'agit de connaître l'instabilité de ce versant.

Il semble possible de définir plusieurs possibilités de programmes de recherche, correspondant à plusieurs échelles différentes: l'échelle 50 à 200 km<sup>2</sup> à partir de la problématique crue (pluie, neige, ruissellement, propagation); l'échelle petit BV de montagne (pluie, neige, ruissellement, érosion de versants de berges et de surface, instabilités de versants); l'échelle versant (pluie, neige, ruissellement, gradient, instabilités de terrain, nappes fugitives).

Les zones d'influence des points de mesures des mêmes phénomènes diffèrent à chaque échelle, et le type d'utilisation aussi.

4) Deux "dénominateurs communs" ont été envisagés: fonte de neige sur un bassin, hydraulique souterraine sur un versant. Pour chacun d'entre eux, la problématique de recherche commune qui aiderait le plus grand nombre doit être définie ; pour y arriver, il a été proposé de mieux comprendre le domaine d'activité de chacun des cinq organismes présents, en liaison avec ces deux thèmes potentiellement fédérateurs, par un exposé lors de notre prochaine réunion.

5) Pour chaque point, nous devons expliciter les exigences (cahier des charges) de chaque discipline pour un modèle et par conséquent pour sa validation (Ex.: la conductivité hydraulique dans Topmodel est 10 fois supérieure à celle des modèles plus fins; ce n'est pas un problème pour l'hydrologie; c'en est forcément un pour la problématique "instabilité" .)

6) Le lancement éventuel d'un site de mesures doit être réfléchi selon plusieurs dimensions: les coûts tant de fonctionnement que d'investissement, la durée nécessairement longue du projet, la permanence et la disponibilité de l'équipe qui a la gestion de la maintenance, de la critique des données, etc. Des chiffres sont donnés: 500 kf de fonctionnement annuel pour Draix, 1,5 MF pour Plinlimnon.(G.Bretagne) Deux points délicats:

- le coût des mesures de transport solide
- l'impossibilité pour un projet de 3 ou 5 ans d'étaler l'équipement des appareils, ce qui oblige soit à posséder tout l'investissement dès le départ (2 à 3 MF), soit à étaler le projet sur 10 ans. Cette lourdeur indique qu'un tel projet de mesures doit correspondre à des objectifs scientifiques forts et non à un rassemblement des connaissances.

7) Le problème "nappe de versant" reste encore à discuter, mais on a dégagé quelques informations : les nappes de versant n'existeraient que rarement pour des pentes sup à 20°. Le suivi de nappe a une signification à Leaz (pente 20% soit 11°). Dans les modèles de simulation de nappe, les informations concernant les caractéristiques mécaniques des sols naturels sont à la fois primordiales et très mal connues et de plus sans beaucoup d'espoir d'être mieux connues (un sol naturel n'a rien à voir avec un remblai routier). Un progrès important dans ce domaine à partir de mesures qui permettraient de valider un modèle, peut-il s'escompter ?

## **7 QUELQUES ELEMENTS IMPORTANTS DE DISCUSSION DU GROUPE DE TRAVAIL**

On reprend ici quelques points particuliers, mais qui ont été jugés essentiels par le groupe, au fil des discussions.

### **7.1. MODES D'ÉCOULEMENT**

Les trois termes sur lesquels l'accord se fait le plus facilement sont:

- écoulement superficiel,
- écoulement hypodermique,
- écoulement profond.

A partir de ces termes de bases, un certain nombre d'interrogations commencent à se formuler en commun:

#### **- écoulement superficiel:**

comment se forme-t-il, comment évolue-t-il?

quelle est son action au niveau de l'érosion, au niveau du ravinement, au niveau du sapement des berges?

#### **- écoulement hypodermique:**

rôle de la couche biologique, rôle de la couverture forestière? En l'absence de racines ou de fissures, la matrice fine est-elle suffisamment perméable pour que se crée un véritable écoulement?

rôle des horizons imperméables peu profonds?

Ces deux questions ont encore beaucoup plus d'importance pour la compréhension du comportement mécanique que pour celle du comportement hydraulique.

#### **- écoulement profond:**

on en connaît mal les conditions et les vitesses. Des vitesses de percolation très lentes s'accompagnent de processus hydrogéochimiques qui ont certainement une grande importance, notamment au niveau mécanique.

### **7.2. DÉBITS OU SOUS PRESSIONS**

Les points de vue et l'attention vont être très divers entre:

l'hydrologue "de crue" qui va consacrer son attention aux gros débits et aux gros volumes, souvent liés à des événements et des situations exceptionnels,

l'hydrologue ou hydrogéologue "de bassin" va s'intéresser au renouvellement des ressources en réservoir et aux problèmes de polluant. Il considèrera en particulier le milieu non saturé comme un "écran" pour la migration de certaines substances,

le géotechnicien va s'intéresser à l'eau qui ne migre pas, à l'état de saturation préalable des sols, aux milieux peu ou pas perméables.

### **7.3. BASSINS VERSANTS DE RECHERCHE EXPERIMENTAUX**

R correspond à Recherche et pas à Représentatif, la représentativité étant évidemment bien difficile à assurer. Si beaucoup de petits bassins ont vécu, l'intérêt des grands BVRE ne s'est jamais démenti (plusieurs dizaines à une centaine de km<sup>2</sup>). C'est le cas par exemple du bassin de Draix (200000 ha ou 2000 km<sup>2</sup>)

### **7.4. SITE UNIQUE OU COMMUNAUTE DE BESOINS**

La notion de représentativité ne semble pas avoir le même contenu pour les divers participants. Cela pose immédiatement le problème de savoir si l'on veut et si l'on peut retenir un site unique.

*Une des premières idées* serait en effet de concentrer de gros moyens d'instrumentation et suivi sur un site ou chacun trouverait un intérêt et sur lequel on pourrait ainsi, grâce aux diverses contributions améliorer singulièrement la connaissance d'ensemble. Faut-il que ce site soit:

- un site de montagne,
- torrentiel,
- avec des crues exceptionnelles,
- avec un fort débit solide,
- avec des glissements de terrain, mais qui ne se limitent pas à des sapements de berge,
- avec un important manteau neigeux en hiver.....?

C'est dire qu'un tel site est quasiment impossible à trouver, surtout si on le cherche à proximité immédiate de Grenoble !

### **7.5 INSTRUMENTATION**

Il est difficile d'en cerner l'objectif et le contenu.

S'agit-il de "capturer" l'évènement fugace? C'est particulièrement difficile pour l'hydrologue de "crue".

S'agit-il de multiplier les paramètres mesurés, de trouver des facteurs d'intérêt commun, de bénéficier d'une synergie logistique?

## 7.6 ECHELLE

Attention à l'appréhension des échelles spatiales par les différents groupes! L'unité de travail est elle un bassin, un sous-bassin, une parcelle, un versant? Cela dépend des phénomènes que l'on veut observer:

- pour un spécialiste des mouvements de terrain, et l'expérience du programme RIVET le prouve, certaines approches doivent être faites à 1/50000, d'autres à 1/500. L'eau, son mode de circulation, son rôle, ne seront pas considérés de la même façon aux deux bouts de l'échelle; le problème est bien de trouver des méthodes pour que toutes les approches ayant une finalité opérationnelle se fassent avec une certaine continuité. Ainsi par exemple sera-t-il important d'évaluer aussi finement que possible la répartition spatiale des pluies et des modes d'écoulement superficiel associés aussi bien que la variation des lois de comportement des matériaux au voisinage de la saturation.
- pour le spécialiste de l'hydrologie, l'objectif finalisé sera naturellement différent. Priorité sera donnée à l'évaluation des niveaux de crues exceptionnels en un certain nombre d'endroits critiques: les conditions d'écoulement superficiel auront beaucoup plus d'importance que la connaissance détaillée à l'échelle locale des matériaux constitutifs du bassin.

## 7.7. INTERET PEDAGOGIQUE

Le groupe s'est interrogé sur l'intérêt pédagogique de sites expérimentaux. On a mentionné une tentative non réussie à Montpellier St Loup. Mais n'y en a-t-il pas d'autres plus encourageantes en Europe ou ailleurs? On cite également ce qui est en train de s'initier à Boulc, qui devient un terrain pédagogique pour l'IRIGM et sans doute l'IGA.

- un ensemble "**régimes des pluies, écoulements superficiels et générateurs de crues**", qui concernerait la liaison entre le régime des pluies sur le bassin versant et les écoulements superficiels et épidermiques; ainsi que la liaison entre ces écoulements et les crues d'une part, l'érosion du lit et les laves torrentielles d'autre part.
- un ensemble "**écoulements souterrains et stabilité des pentes**" qui concernerait la liaison entre le régime des pluies sur le bassin et le niveau d'eau souterrain, d'une part, et la liaison entre ces écoulements souterrains, la stabilité des berges et des versants, et la réalimentation des rivières d'autre part.