



INTERREG III A Projet n° 179 (ex n° 046)

## RiskYdrogé

«Risques hydrogéologiques en montagne : parades et surveillance »

### Activité 2. Sites pilotes

### Site 1 – Sallèdes

#### Partenaires et financeurs :



Région autonome Vallée d'Aoste  
Assessorat du territoire,  
de l'environnement et des ouvrages publics  
Regione autonoma Valle d'Aosta  
Assessorato del territorio,  
ambiente e opere pubbliche



CANTON DU VALAIS  
KANTON WALLIS



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**  
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**  
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**  
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**  
Federal Office for Water and Geology **FOWG**

#### En collaboration avec :



Pôle Grenoblois  
Risques Naturels



# SITE PILOTE 1

## Sallèdes

### Commune de Sallèdes, France

## 1. DESCRIPTION DU SITE

### 1.1. Localisation

Le site de Sallèdes se situe à une vingtaine de kilomètres au Sud-Est de Clermont-Ferrand, dans les monts de la Comté, en bordure du Parc régional du Livradois Forez. L'instrumentation est sur une parcelle située entre la route, le CD14 et le ruisseau du Crinzou.

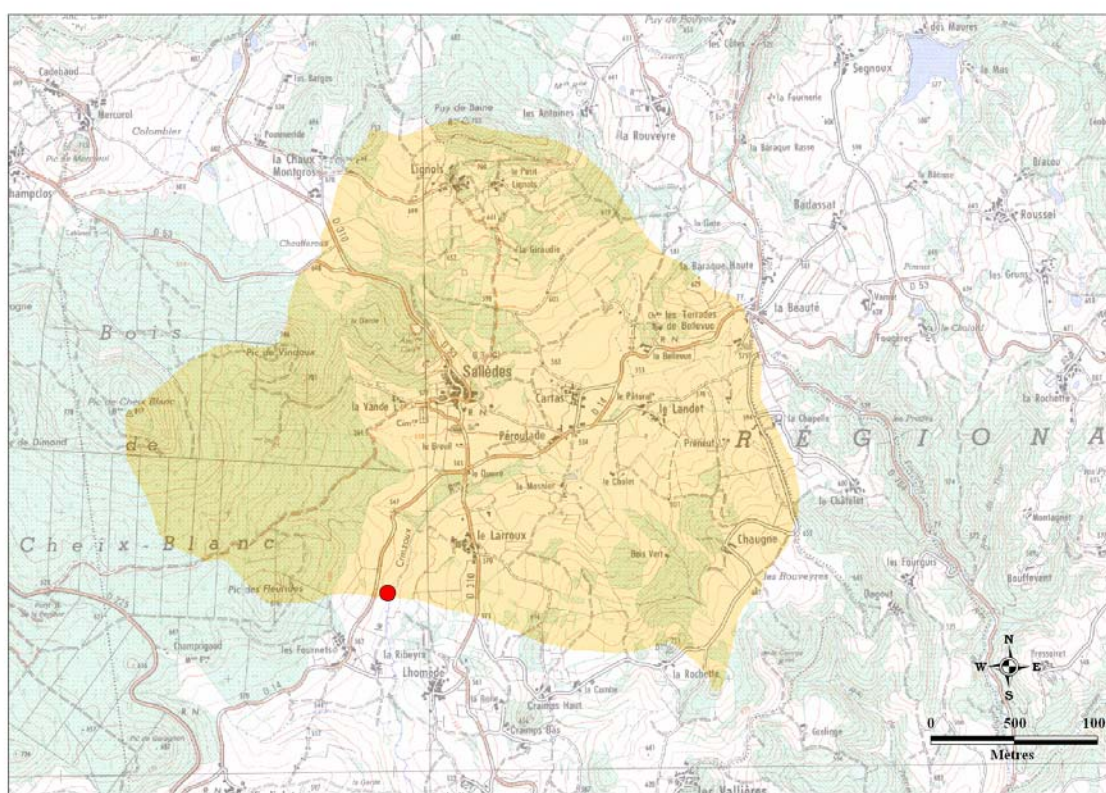


Figure 2.1. 1. Localisation du site de Sallèdes

### 1.2. Contexte géologique

Il s'agit d'un versant naturel instable dans des colluvions de pente alimentées par des formations marno-calcaires oligocène appartenant à l'ensemble du bassin versant d'effondrement limagnais et constituant le substratum de la pente. Le sommet du relief est dominé par un entablement basaltique miocène ceinturé par des éboulis et nappe de blocs issus d'un démantèlement de ces formations. La dénivelé du versant est de l'ordre de la centaine de mètres pour environ 800 mètres de longueur.

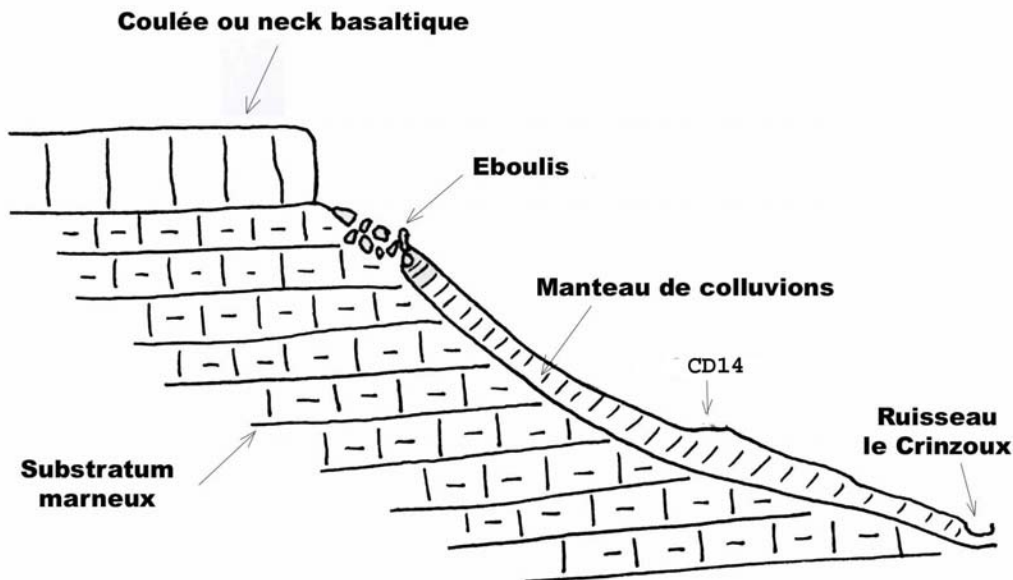


Figure 2.1. 2 : Coupe de principe du versant de Sallèdes

### 1.3. Historique du site

Les mouvements de ce versant sont très anciens. Ils n'affectent pas de lieux habités, mais constituent un point noir sur le CD14.

Ce site fait l'objet de deux actions complémentaires de recherche depuis 1977 :

- La première action portait sur le comportement mécanique du site dans le temps en fonction de l'évolution des pressions interstitielles. Cette expérimentation s'est achevée avec une rupture forcée du versant par la construction d'un remblai d'une hauteur de 5.5m et d'un volume de 12500m<sup>3</sup>. Le remblai a entraîné une rupture du versant à une profondeur comprise entre 7 et 8mètres et une remobilisation de matériaux de l'ordre de 30000m<sup>3</sup>. Les travaux se sont ensuite poursuivis par des recherches de solutions de « cloutage » du versant par pieux qui ont abouti à des dimensionnements de pieux soumis aux contraintes du glissement.
- La deuxième action portait sur le fonctionnement hydrogéologique du versant et notamment de la zone non saturée. Cette action a été complétée par des recherches de solutions permettant de réduire les mises en charge de la « nappe » (impermeabilisation, drainage...).

Ces deux actions servent d'articulation à l'action de recherche menée actuellement sur le site.

## 2. PROBLEMATIQUE

### 2.1. Problématique du site

D'un suivi de plusieurs années le schéma hydrogéologique classiquement rencontré dans ces terrains est celui donné par la Figure 2.1. 3.

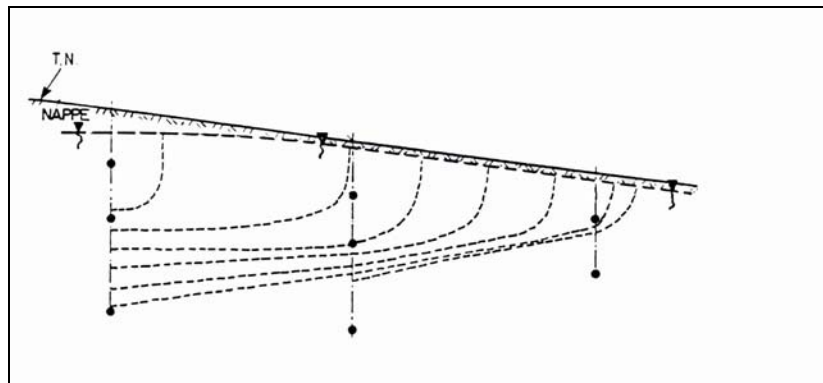


Figure 2.1. 3 : Comportement hydrogéologique du versant

Les études antérieures ont montré que la survenance des mouvements de terrain et plus particulièrement leur accélération est à relier avec la mise en charge du système aquifère. Les mouvements se produisent lorsque la nappe atteint un seuil critique de  $-1.0\text{m}$  à  $-2.0\text{m}$  par rapport au terrain naturel. La relation vitesse déplacement peut être modélisée dans de bonnes conditions, avec cependant des imprécisions dans la zone proche de l’asymptote.

Ces incertitudes tiennent probablement pour une part à l’absence de prise en compte du réservoir non saturé qui peut présenter des différences de recharge substantielles pour une même cote de nappe. Des phénomènes de piégeage d’air et d’hystérésis ont également leur part dans ce problème.

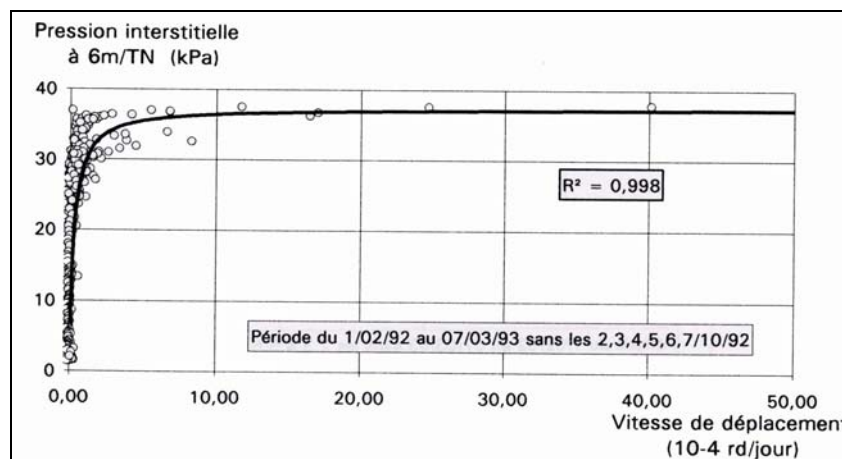


Figure 2.1. 4 : Relation Vitesse de déplacement pression interstitielle

Le débit d’un cours d’eau et plus particulièrement les courbes de tarissement peuvent constituer un paramètre complémentaire pour affiner les estimations faites jusqu’à maintenant. En effet, la fonction tarissement d’un cours d’eau intègre à la fois le rôle de la nappe, mais également celui de la zone non saturée.

Enjeux

Il n’y a pas de véritables enjeux sur le site qui se situe dans un milieu rural. Mais sa problématique se retrouve en France dans de nombreux manteaux de colluvions de pente issus de l’altération de formations argileuses. Le site en lui-même est porteur potentiel de conclusions extrapolables à des sites à forts enjeux.

2.2. Objectifs de l’instrumentation

Le remise en service des piézomètres a pour objectif d’assurer un suivi des niveaux de la nappe.

La construction d'un seuil de mesure de débits sur le Crinzoux est destinée essentiellement à analyser les courbes de tarissement de ce cours d'eau et à établir des corrélations débits, ou paramètres de la fonction tarissement, avec la piézométrie et d'affiner la prévision des mouvements. En parallèle avec cette instrumentation, deux inclinomètres ont été remis en service dans le cadre de la fiche « mise en charge des remblais ». Ils permettent une analyse plus complète des mesures en donnant des valeurs de déplacement.

A terme, un tel dispositif doit permettre une prévision plus fine des mouvements de terrain et une gestion plus sécurisée de la route.

### 3. INSTRUMENTATION EN PLACE

L'instrumentation actuelle, mise en œuvre depuis novembre 2004, est prévue pour être maintenue sur une durée de 2 ans. Les mesures tensiométriques, neutroniques et de déplacement sont abandonnées depuis 1994, la recherche étant close sur ces thèmes.

#### 3.1. Piézométrie

Deux piézomètres sont installés sur le site. Les forages de 6 à 7m de profondeur, sont équipés d'une crépine. La hauteur d'eau est mesurée à la sonde manuelle à chaque visite sur le site. Elle est suivie en continue par deux capteurs de pression relative, gamme de mesure 0-10mH<sub>2</sub>O. Le piézomètre dit PIEZOH est positionné sur le haut de terrain, au-dessus du remblai expérimental. Le piézomètre dit PIEZOB est en dessous du remblai expérimental.

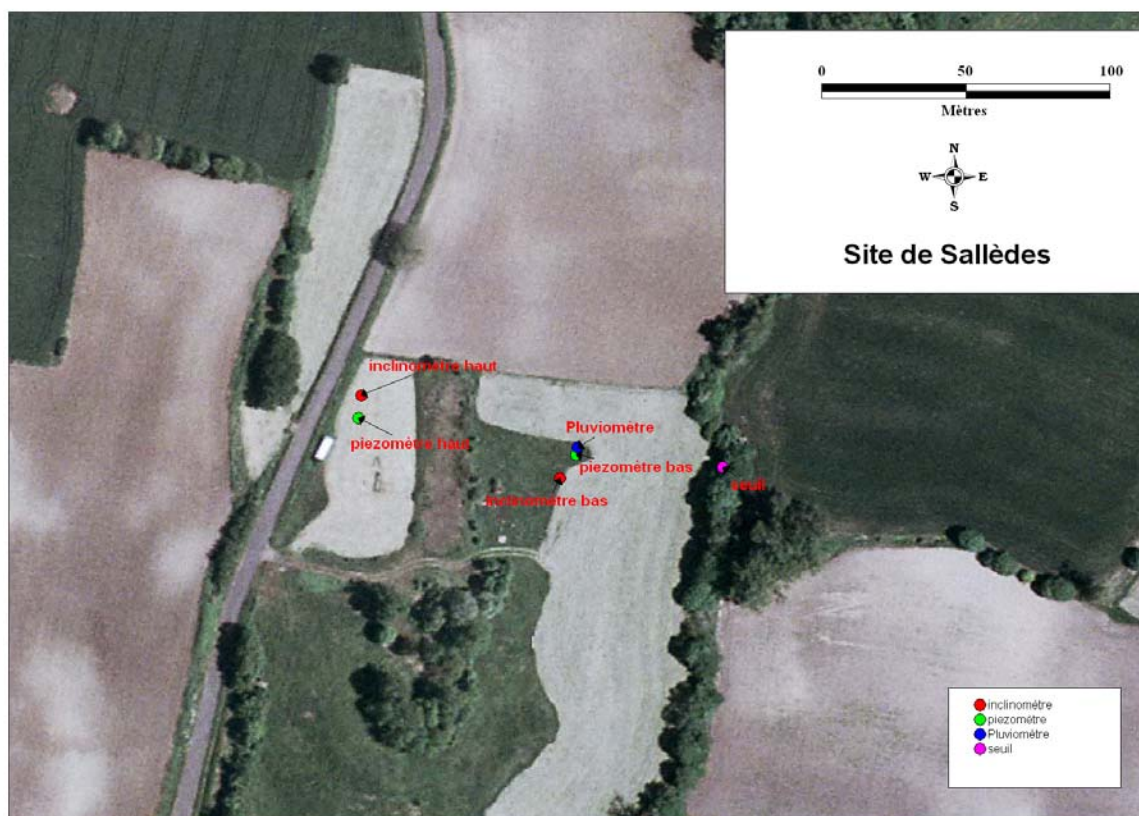


Figure 2.1. 5 : Plan d'implantation de l'instrumentation

### 3.2. Pluviométrie

Les précipitations sont mesurées à l'aide d'un pluviomètre PrécisMécanique à augets basculeurs permettant une mesure de la pluie par pas de 0.2mm. Le cône de réception a une surface de 1000cm<sup>2</sup>.

Les basculements sont enregistrés au pas de temps de la minute.

### 3.3. Débitmétrie

Les débits du ruisseau du Crinzoux sont mesurés au droit d'un seuil mis en place dans le lit du ruisseau. La forme triangulaire puis rectangulaire permet une mesure correcte des débits dans une plage relativement large. Ceux-ci sont estimés en utilisant une formule de seuil ou plus précisément compte tenu de la forme complexe de la section d'écoulement de l'estimation du débit en considérant dans la section du seuil un écoulement critique. Pour les très hautes eaux les valeurs estimées sont corrigées de l'influence aval (l'écoulement n'est plus critique dans la section du seuil). Les hauteurs d'eau, données d'entrée des formulations, sont mesurées, 1m à l'amont du seuil, à l'aide d'un capteur de pression relative gamme 0-2mH<sub>2</sub>O, enregistré en permanence. Des mesures manuelles de contrôle sont effectuées à chaque visite sur le site pour contrôler et corriger une éventuelle dérive du capteur de mesures.

L'analyse d'un risque de mouvement de terrain à partir de la mesure de débit s'inscrit ici dans une démarche peu classique qui consiste à utiliser le débit du bassins versant pour traduire le stock d'eau du sol, saturé et non saturé, à un instant t et plus particulièrement au moment de la recharge de la nappe.



Figure 2.1. 6 : Seuil de mesures des débits sur le Crinzoux

### Centrale d'acquisition

Les mesures des capteurs des piézomètres, du capteur de la mesure de débit, et les impulsions du pluviomètre sont centralisées sur une station d'acquisition autonome (énergie fournie par des piles) CYR2V23. Une auscultation des trois voies de mesures analogiques (capteur de pression) et de la voie comptage (impulsion du pluviomètre) est réalisée toutes les minutes. Si l'une des mesures est différente de la mesure préalablement stockée, cette auscultation est mémorisée, si non elle est abandonnée. Toutes les 5 minutes, même si aucune variation de mesures a eu lieu, l'auscultation est stockée.

La centrale est reliée au réseau téléphonique. Elle peut donc être interrogée du laboratoire et l'on peut ainsi contrôler son bon fonctionnement et rapatrier les données. Cette interrogation est faite généralement une fois par semaine. Une visite sur le site au moins 1 fois tous les mois permet également de contrôler le bon état du matériel, de stocker définitivement les données et de remettre à zéro la mémoire de la centrale. Cette visite est nécessaire pour l'entretien du seuil de mesures des

débits qui malgré cela a connu des embâcles qui ont faussé les mesures certaines périodes (automne 2005 en particulier).

En complément, deux inclinomètres sont suivis manuellement.

Malheureusement l'ensemble de ce matériel n'a pu être installé au même moment, il en découle des séries non homogènes. C'est notamment le cas pour les mesures inclinométriques qui débutent tardivement les 19/04/05 (I<sub>1</sub>) et 15/05/05 (I<sub>2</sub>) alors que les premières mesures piézométriques et de débits sont relevées dès octobre 2005.

Piézomètre bas	12-10-2004 au 10-05-2006
Piézomètre haut	12-05-2005 au 10-05-2006
Inclinomètre I <sub>1</sub>	20-04-2005 au 17-05-2006
Inclinomètre I <sub>2</sub>	18-05-2005 au 17-05-2006
Débit	12-10-2004 au 10-05-2006
Pluvio	12-04-2004 au 10-05-2006

Tableau 1 Période de mesures actuellement disponibles

#### 4. RESULTATS ET PREMIERES ANALYSES

##### 4.1.1. Les mesures

Les résultats des mesures sont présentés sous forme de graphiques et tableaux dans le texte ou en annexe.

La particularité de la période de mesure ressort du graphique d'évolution du piézomètre bas (Figure 2.1. 7).

- L'été 2004 s'achève aux environs du 25 octobre mais les conditions pluviométriques sont médiocres et la nappe reste basse pour la saison (-2 m/TN).
- Ce n'est qu'à partir de février 2005 que cette dernière retrouve des cotes et des fluctuations représentatives d'une situation hivernale.
- L'été 2005 s'amorce dès mai 2005 et va se poursuivre pratiquement jusqu'au 9 mars 2006.

La période de mesure est donc affectée d'un été de près de 10 mois réduisant d'autant le nombre d'évènements à analyser.

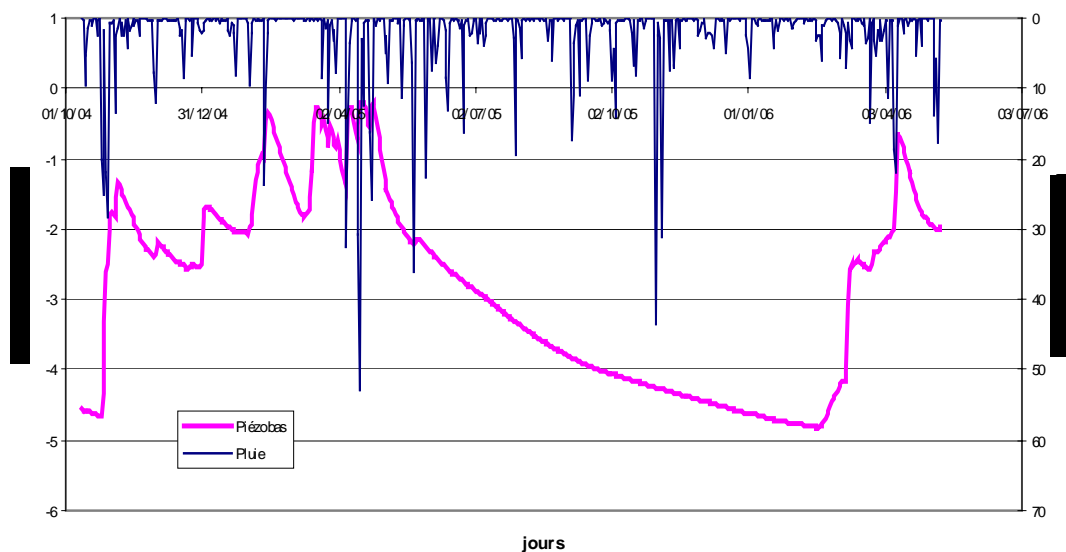


Figure 2.1. 7 : Synthèse journalière Piézomètre bas et Pluies Sallèdes

Le contexte météorologique de ces deux années 2004-2005 justifie de ce comportement (Cf. poste météo de Sauxillanges Figure 2.1. 8). En effet, malgré deux mois très pluvieux (août et octobre) l'année 2004 est sur le plan de l'infiltration efficace déficitaire du mois de mai à la fin 2004. Ce déficit se poursuit jusqu'au début de mars 2005.

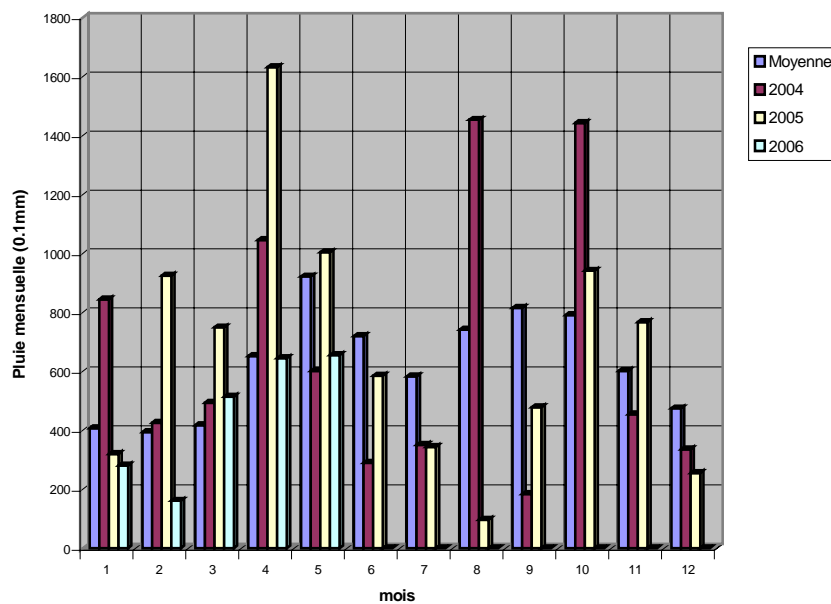


Figure 2.1. 8 : Pluies mensuelles Sauxillanges

A cette situation s'ajoute le caractère très particulier des hivers 2004-2005 et 2005-2006 marqué par des chutes de neiges abondantes et des périodes de froid peu coutumières pour ce site. Le signal pluie n'est, dans ces conditions, pas très fiable. Il en est de même de la relation que l'on tente d'établir entre pluie et évolution piézométrique.

On trouvera en annexe une comparaison des mesures pluviométriques du poste de Sauxillanges et des mesures faites à Sallèdes. Un décalage pluviométrique se dessine sur février, mars et avril 2005 probablement imputable au mode de mesure (présence ou absence de chauffage du pluviomètre).

On trouvera également en annexe 4 sur le poste météorologique de Sauxillanges à proximité de Sallèdes les périodes d'enneigement (en rouge).

La Figure 2.1. 9 montre pour le piézomètre bas, une réponse différée de la piézométrie à une fonte des neiges tombée plusieurs jours auparavant.

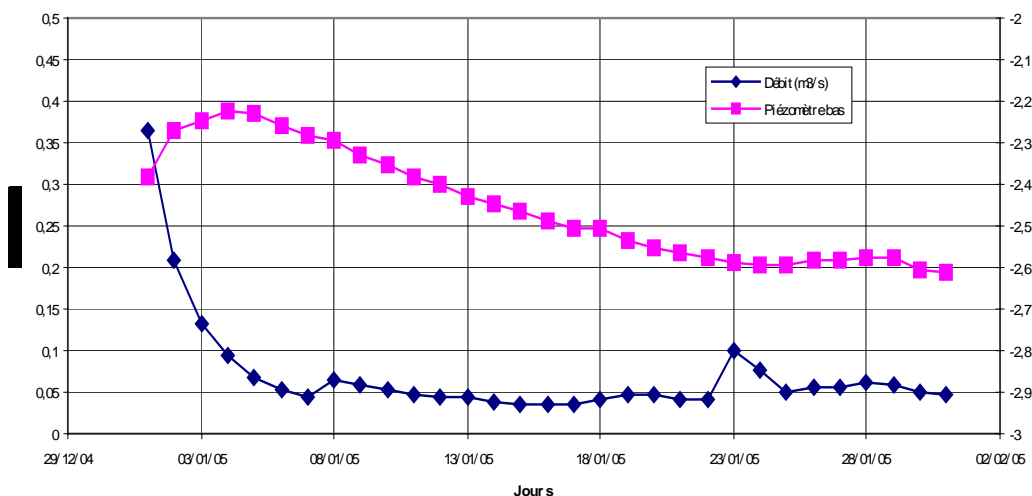


Figure 2.1. 9 : Effet présumé de la fonte des neige

#### 4.1.2. Relation Débit Piézométrie

Les mesures de débit et de piézométrie sont données en annexe 1 et 2. La relation débit piézométrie est donnée à partir de cet échantillon de débits et niveaux piézométriques journaliers sur la

Figure 2.1. 10.

De ce graphique il ressort qu'en deçà d'une piézométrie inférieure à  $-3$  m/TN, les débits sont faibles, de l'ordre de la dizaine à quelques dizaines de litre. Ces valeurs correspondent au drainage de terrains imperméables.

Entre  $-2$  et  $-3$  m/TN, les débits croissent progressivement, ils se situent majoritairement entre 20 et 100 l/sec ; au-delà de  $-2$  m/TN l'accroissement des débits s'accélère dans une fourchette de 40 à 300 l/sec.

Enfin à partir de  $-1$  m/TN, la piézométrie stagne malgré un accroissement des débits très significatifs dépassant souvent plusieurs mètres cubes par seconde. Pour toute la période de mesure la piézométrie ne dépasse pas la cote de  $-0.5$  m/TN.

A ce stade là, c'est le ruissellement hypodermique qui intervient ; les terrains sont très perméables (Cf. thèse Boucek) et un accroissement important de pluviométrie ne se traduit pas par une surcharge piézométrique.

La superposition des graphiques, l'évolution de la piézométrie et des débits montrent sans analyse exhaustive que les débits sont déphasés en moyenne de m jour par rapport à la piézométrie. La donne la corrélation piézométrie débit tenant compte de ce déphasage. La relation s'améliore.

Une analyse plus détaillée de cette relation (Figure 2.1.12) permet de souligner quelques points particuliers du comportement hydrodynamique de ces terrains.

On note tout d'abord, alors que la nappe est en fin de drainage ( $-5$  m/TN), une relative dispersion des débits qui très temporairement peuvent dépasser les 100 l/sec. Cette situation s'explique aisément au travers d'un ruissellement sur des terrains très secs qui freinent temporairement l'infiltration. On observe ici le rôle de la perméabilité non saturante, voire celui de l'air piégé.

L'extrait de graphique de la Figure 2.1. 9 montre un tel comportement.

Entre  $-5$  et  $-3$  m la dispersion est très faible pour une raison évidente, la transition de  $-3$  à  $-5$  m se fait en période d'étiage marqué, où la demande évapotranspirative est forte et interdit pratiquement l'infiltration ou le ruissellement ; le retour à une nappe haute se fait dans des laps de temps très courts, parfois la journée et par conséquent la probabilité qu'il y ait ruissellement pendant cette période est plus faible.

A partir de  $-3$  m ; indéniablement le ruissellement peut se manifester sans que l'on ait atteint un niveau de nappe haute à très haute.

Une analyse des événements pluvieux à l'origine de ces ruissellements ne montre pas que ceux-ci sont liés systématiquement à des intensités pluvieuses forte (Figure 2.1.13). Là encore l'analyse se heurte à la précision des mesures pluviométriques.

De cette première analyse on retiendra que la charge piézométrique présente une limite qui se situe aux alentours de  $-0,5$  m/TN et qu'une augmentation de lame d'eau tombée au-delà de cette limite se traduit par un ruissellement hypodermique dont le débit va croître en fonction de la lame d'eau tombée.

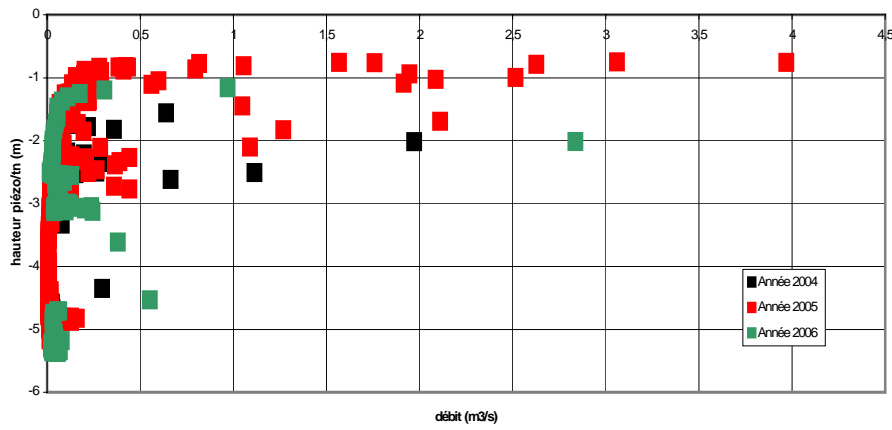


Figure 2.1. 10 :  
Relation hauteur piézo debit  
(même jour)

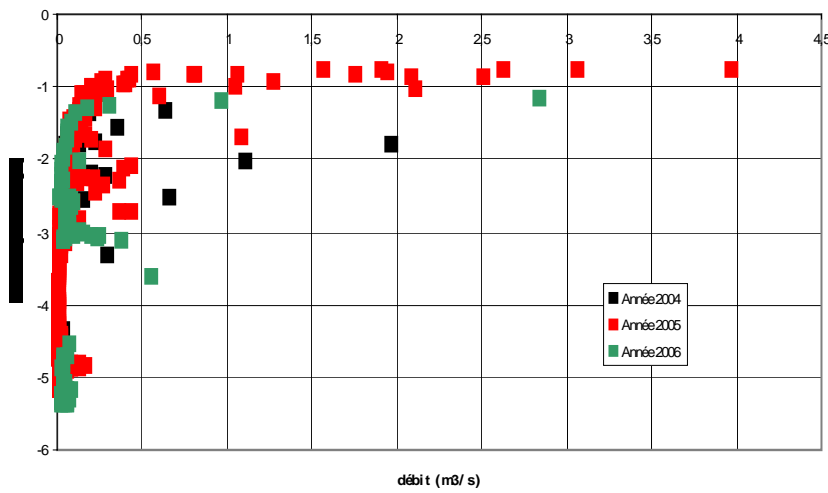


Figure 2.1. 11 :  
Relation hauteur  
piézo(jour j) debit (jour j-  
1)

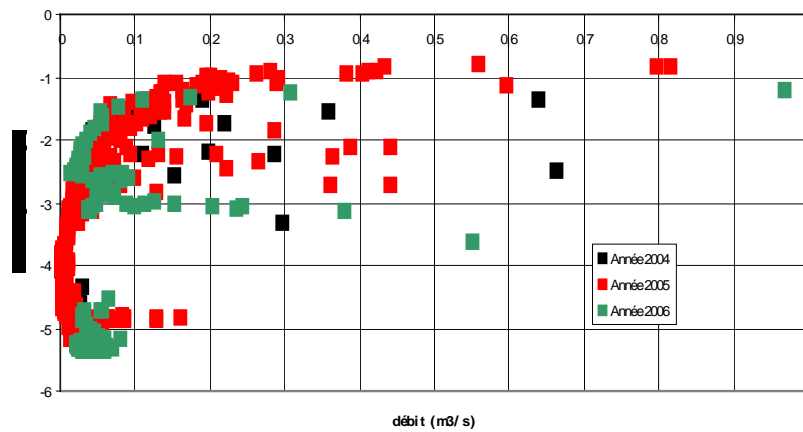


Figure 2.1. 12 : Relation  
hauteur piézo(jour j) debit  
(jour j-1)

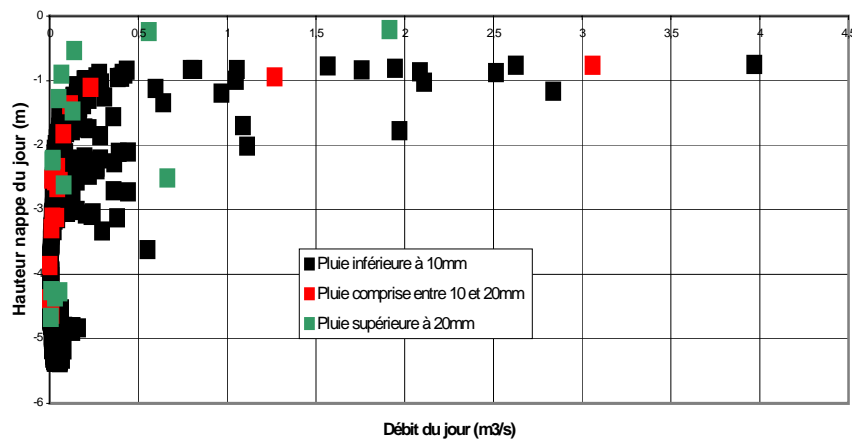


Figure 2.1. 13 : Relation  
Débit du jour j-1  
piézométrie du jour j en  
fonction de la pluie

A variation de charge égale et sous réserve d’atteindre la limite de mise en charge, plus la pluie est forte plus les débits seront forts (Figures 2.1.14 et 2. 1.15).

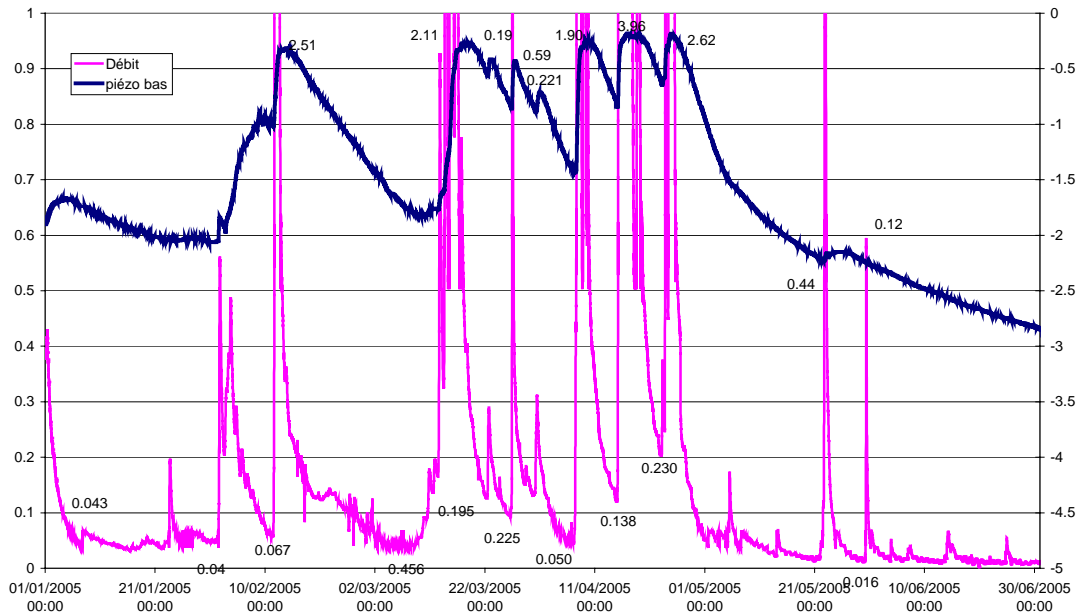


Figure 2.1.14 : Évolution nappe et débits en 2005

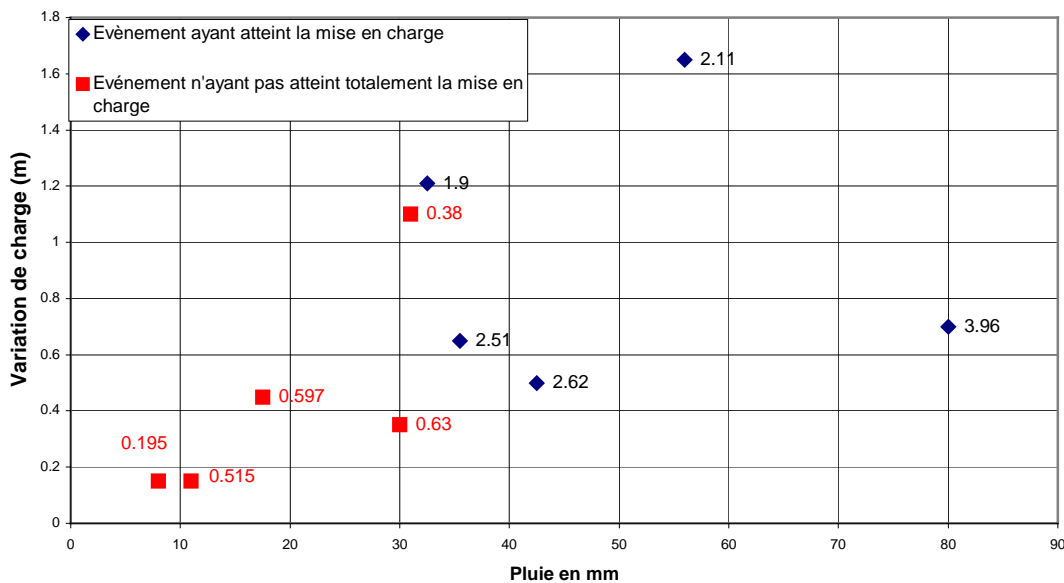


Figure 2.1.15 : Relation pluie débit et variations piézométriques entre 0 et -2.5m/tn

Bien entendu, la chronologie des pluies entre chaque évènement a également son importance et si la lecture de ce type de graphique est délicate cela tient à la difficulté à associer une fluctuation de charge et un débit.

Quoiqu’il en soit, on devine bien ici les limites des modèles régressifs, qui en intégrant des pluviométries sur des périodes où manifestation on ne peut plus leur associer de fluctuations piézométriques ne peuvent que diverger sur ces extrêmes.

De la même manière que l’on a cherché à analyser la relation débit-piézométrie-pluie, pour les pointes maximums piézométriques de l’hiver 2004-2005, il est intéressant d’examiner finement la même relation des débits et de la piézométrie en fin de courbe de drainage.

On trouvera sur la Figure 2.1.16, 10 valeurs de débit en fin de courbe de ressuyage partiel des sols en relation avec la piézométrie.

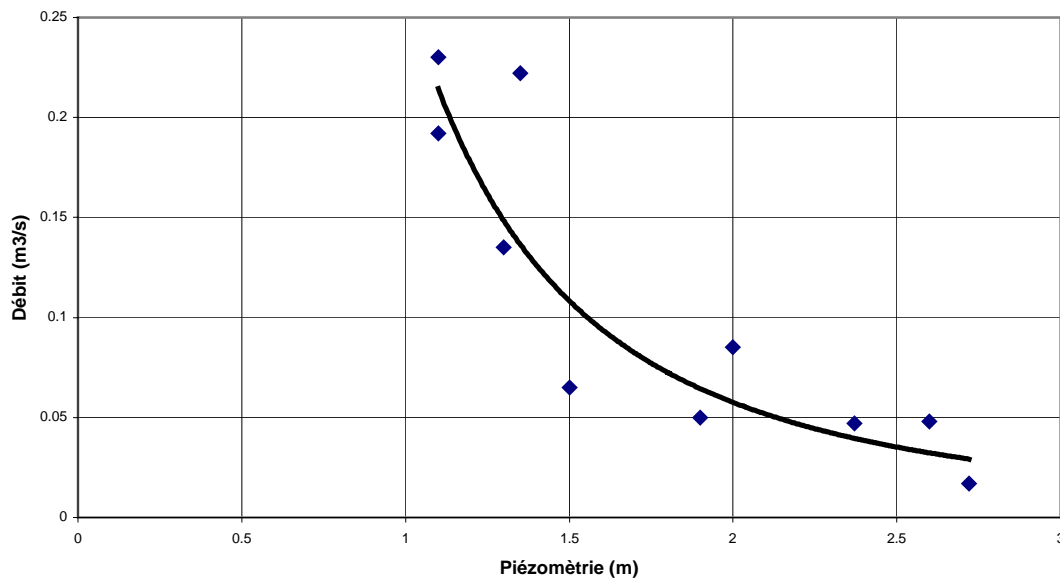


Figure 2.1.16 : Corrélation débit en fin de courbe de tarissement et piézométrie

Malgré une tendance générale qui rappelle celle déjà décrite au travers de la relation débit piézométrie, l'échelle de la représentation permet de constater des écarts relativement sensibles sur les débits pour une même charge.

Indépendamment des incertitudes ou erreurs sur les mesures, il est probable que ces divergences pourraient s'expliquer par le biais de phénomène d'hystérésis et donc de différence d'état de saturation.

On imagine bien que dans un tel contexte la réponse à une même hauteur de pluie puisse être différente.

#### 4.1.3. Relation piézométrie mouvement de terrain

Une seule accélération des mouvements de terrain a été enregistrée en date du 14/06/2006. Elle fait suite à un pic de la piézométrie le 11/04/2006.

Ce dernier reste cependant en deçà des pics mesurés en 2005 ; malheureusement les mesures inclinométriques interviennent trop tardivement pour suivre cette période.

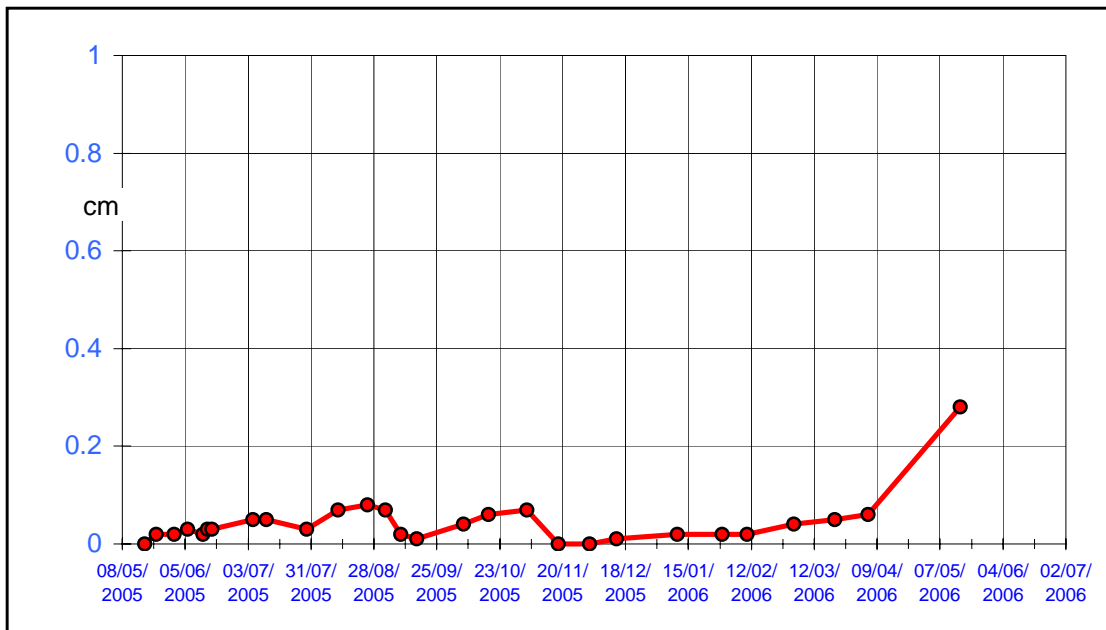


Figure 2.1.17 : Évolution des déplacements Inclinomètre I2

## 5. Conclusion

A ce stade, face à la complexité d’une analyse paramétrique rendue relativement difficile en raison de la durée de la série et de la fiabilité de la mesure pluie (quelle que soit la manière de réaliser cette mesure) il nous paraît opportun aujourd’hui, soit de prolonger les mesures sur une durée suffisamment longue pour créer une période de calage fiable, soit de repartir sur les mesures piézométriques anciennes de Sallèdes (chronologie d’une dizaine d’années) et de tenter une corrélation avec les mesures de débit de l’époque à la station de l’Ailloux contrôlant un bassin versant d’environ 40 km<sup>2</sup> au sein duquel se trouve le bassin versant de Sallèdes.

Il est probable que la représentation de ce bassin ne sera pas aussi bonne que ne le soit la station de mesures actuelles (présence partielle du socle granitique).