

## **IV- CARACTERISATION DES UNITES AQUIFERES**

Ce chapitre fournit d'abord les éléments fondamentaux pour la compréhension du fonctionnement des domaines hydrogéologiques étudiés, à savoir le domaine karstique et le domaine triasique,. Il caractérise ensuite, de manière détaillée, chaque unité aquifère présente sur le secteur d'étude. Il s'agit de la première étape de sectorisation des futures zones de sauvegarde.

### **1- LE DOMAINE KARSTIQUE**

Si les aquifères karstiques présentent fréquemment des potentialités importantes en terme de ressources en eau, cette ressource est souvent sous exploitée du fait de la difficulté à la mobiliser sans connaissance de la géométrie des drains, de la localisation des réservoirs et des volumes stockés ainsi que des impacts potentiels sur les débits aux exutoires. Ces aquifères présentent un double intérêt, d'une part, comme contributeurs important au débit des cours d'eau, et d'autre part, comme ressource principale complémentaire ou alternative pour la satisfaction des différents usages.

#### **1.1. Définition du karst**

La karstification est un processus d'altération chimique et d'érosion mécanique (abrasion) qui permet la formation de vides karstiques connectés et hiérarchisés constituant une unité de drainage karstique au sein de la roche originelle. Le terme de « karst » est issu d'une région de Slovénie, typique du paysage karstique.

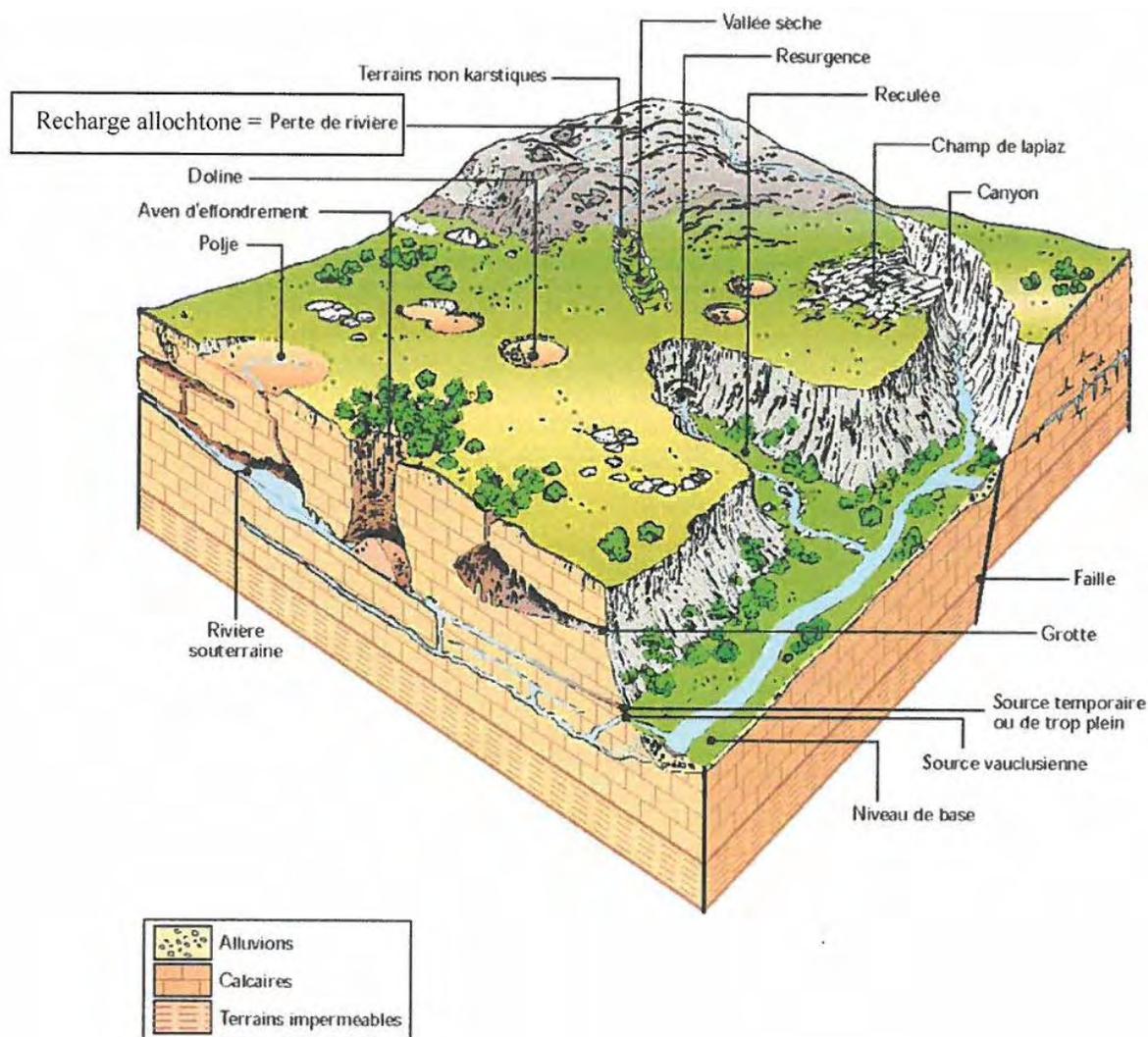
Les roches concernées sont celles qui pourront être dissoutes directement par l'eau de pluie et surtout celles qui peuvent être dissoutes par l'eau infiltrée à travers le sol, ce qui regroupe l'ensemble des formations carbonatées (calcaires et dolomies). En effet, l'activité biologique au niveau du sol joue un rôle fondamental en augmentant la pression partielle de CO<sub>2</sub> du milieu ; l'eau infiltrée va alors s'équilibrer avec ce milieu et s'enrichir en CO<sub>2</sub> ce qui lui confère un caractère acide qui favorise la dissolution des carbonates. Ces eaux infiltrées sont dites agressives vis-à-vis de la calcite compte tenu de leur fort pouvoir de dissolution. Néanmoins, la très faible minéralisation de l'eau de pluie qui s'équilibre avec la pression partielle de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère peut aussi présenter un pouvoir de dissolution élevé ; c'est le cas des eaux de ruissellement direct sur un terrain non karstique qui atteignent plus en aval un aquifère karstique.

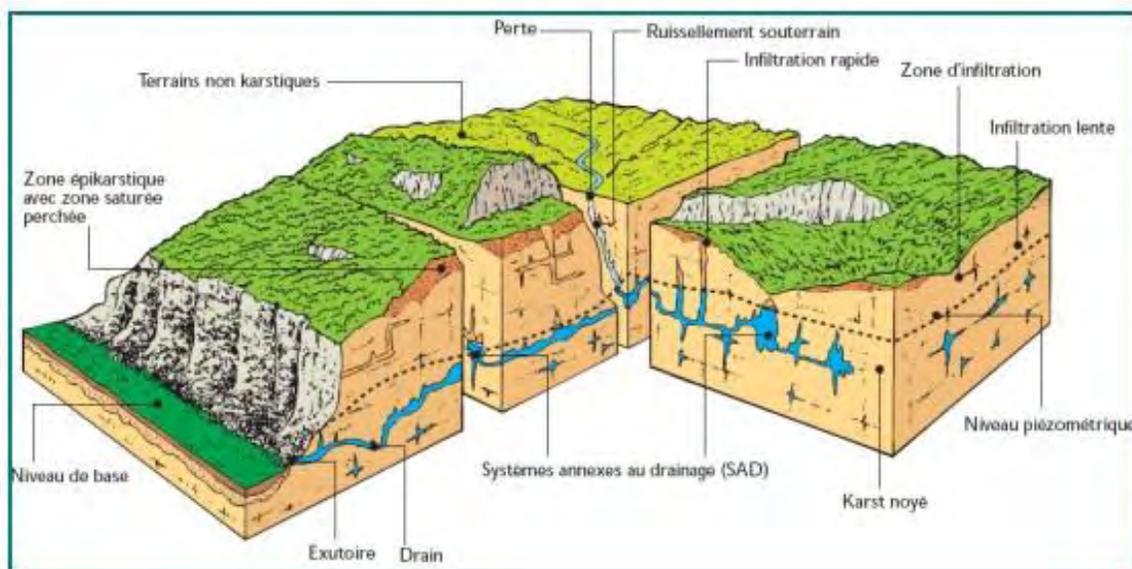
De plus, l'oxydation de la matière organique qui est amenée en quantité importante par les pertes de rivière produit du CO<sub>2</sub> et favorise d'autant plus la dissolution de la calcite et le développement des réseaux de drainage karstique. Dans le cas d'une perte en rivière, le flux d'éléments dissous sera donc lié au débit de la rivière qui atteint le karst.

## 1.2. Les formes du relief karstique

La première caractéristique des paysages karstiques est l'absence d'écoulements de surface. La surface des plateaux est parsemée de reliefs originaux, sous forme d'affleurements de calcaires nus creusés de cannelures (lapiaz), de dépressions fermées de petite ou moyenne taille (dolines) ou plus vastes (poljés), de puits (avens, gouffres) ouverts sur le réseau karstique profond, de vallées sèches et canyons (Figure 17)...

Le sous-sol est creusé d'un réseau souterrain formé de salles, de puits, de galeries plus ou moins étroites, développés dans les zones les plus fracturées du massif calcaire et s'ouvrant en surface par des grottes (ou Baume) ou des événements depuis lesquels émergent les sources karstiques.





**Figure 17 : représentation schématique d'un aquifère karstique souterrain (AERMC - 1999 et AERMC - 1999 d'après MANGIN - 1975)**

### **1.3. Les circulations souterraines et le développement du réseau karstique**

La circulation de l'eau au niveau des discontinuités préexistantes de la roche encaissante (micro fissure, fracture, joint de stratification), et dans certains cas à travers la porosité originelle de la roche (calcaire bioclastique, certaines craies), entraîne, par un élargissement progressif, le développement du réseau de drainage karstique, ce qui en retour favorise la circulation de l'eau. La genèse des réseaux de drainage karstique est donc un processus décrivant une boucle de rétroaction positive, ce qui est à l'origine de la hiérarchisation du réseau et de son adaptation rapide aux changements des conditions limites qui contrôlent les écoulements. Cette organisation du drainage confère aux aquifère karstique un comportement hydrodynamique spécifique.

L'énergie disponible pour l'écoulement et la karstification qui en dépend est matérialisée par le gradient hydraulique. Il est lié à la différence d'altitude entre la surface où s'effectue la recharge et la condition limite de décharge, appelée niveau de base, matérialisé par la position de l'exutoire karstique qui s'adaptent très rapidement aux nouvelles conditions d'écoulement. La position relative du niveau de base par rapport à la zone de recharge est donc un élément majeur qui explique le processus de karstification. Ce rééquilibrage rapide permet d'expliquer le développement étagé des réseaux karstiques qui enregistrent les évolutions relatives passées du niveau de base, notamment en zone de montagne suite à l'enfoncement des cours d'eau et aux mouvements relatifs des masses rocheuses (mouvements tectoniques), mais aussi dans le bassin Méditerranéen en raison de fortes variations

eustatiques (crise Messinienne, périodes glaciaires du Quaternaire) qui ont contrôlé l'enfoncement des cours d'eau puis le comblement des vallées, à l'image de la vallée du Rhône [3, 4].

La karstification dépend aussi du faciès chimique de l'eau qui est véhiculée, et en particulier de son pouvoir de dissolution. Celui-ci diminue au fur et à mesure que l'eau s'éloigne de la zone de recharge et que l'eau s'équilibre avec la calcite.

La combinaison du pouvoir de dissolution, du degré de fracturation, de la structure tectonique préexistante et du gradient hydraulique définit le potentiel de karstification du système étudié. L'évolution spatiale et temporelle de ce potentiel permet de comprendre la genèse du réseau karstique, notamment sous le niveau de l'exutoire. Si l'on considère que ce potentiel est constant, alors les grands vides karstiques seront situés soit en un point qui favorise l'altération chimique, soit en un point qui favorise l'altération mécanique. L'altération chimique, sous réserve qu'il existe une circulation d'eau, est favorisée à proximité de la surface où elle est associée à une décompression des roches et à des facteurs climatiques favorisant l'érosion de la partie supérieure de l'aquifère. L'érosion mécanique est favorisée lorsque la vitesse des écoulements devient importante, ce qui s'observe dans les drains principaux plus on se rapproche de l'exutoire[5].

L'ensemble des processus de décompression et d'altération à la surface d'un karst au contact de l'atmosphère se traduit par une zone plus perméable pouvant atteindre quelques dizaines de mètres sous la surface du sol : l'épikarst.

## 1.4. Typologie du karst

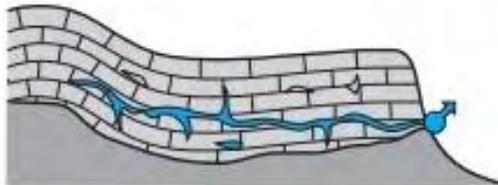
Les systèmes karstiques jurassiens ou vauclusiens caractérisent 2 types de développement du réseau karstique (Figure 18), qui dépendent de la géologie locale (lithologie, fracturation).

Le conduit principal aboutissant à la source peut être disposé de deux façons différentes :

- Le drain principal est situé à la partie supérieure de la zone noyée (source jurassique ou aquifère à drainage épiphréatique) ; l'écoulement peut y être localement libre, donc sans continuité hydraulique de l'aval vers l'amont dans la zone noyée. Un pompage dans le drain ne permet pas un rabattement sous son niveau ; son débit est alors limité par le débit naturel. Un pompage dans un système annexe au drainage peut autoriser un rabattement suffisant pour détourner l'écoulement du drain et pour solliciter une petite partie de la réserve. Le système annexe au drainage est alors utilisé en réserve tampon.
- Le drain principal est situé plus ou moins profondément dans la zone noyée (source vauclusienne ou aquifère karstique phréatique profond) ; l'écoulement dans le drain est « captif ». Il constitue une continuité hydraulique de l'aval vers l'amont, ce qui autorise des rabattements sous le niveau de base, sollicitant, sinon l'ensemble, du moins une grande partie des réserves de la zone noyée. Il est alors possible d'extraire des débits supérieurs aux débits

naturels de la source : l'aquifère peut être surexploité temporairement, en fonction de ses ressources et de sa capacité de stockage.

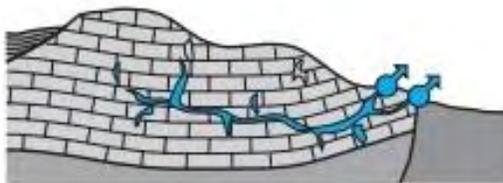
Sur notre secteur d'étude, les 2 types de systèmes sont représentés avec une prépondérance du système vaclusien.



### **Système jurassien**

Degré de fracturation, lithologie, et stratification déterminent une faible résistance à l'écoulement des eaux.

Le drainage s'organise au voisinage du niveau de l'exutoire.



### **Système vaclusien**

Degré de fracturation, lithologie, et stratification déterminent une forte résistance à l'écoulement des eaux.

Le drainage s'organise sous le niveau de l'exutoire.

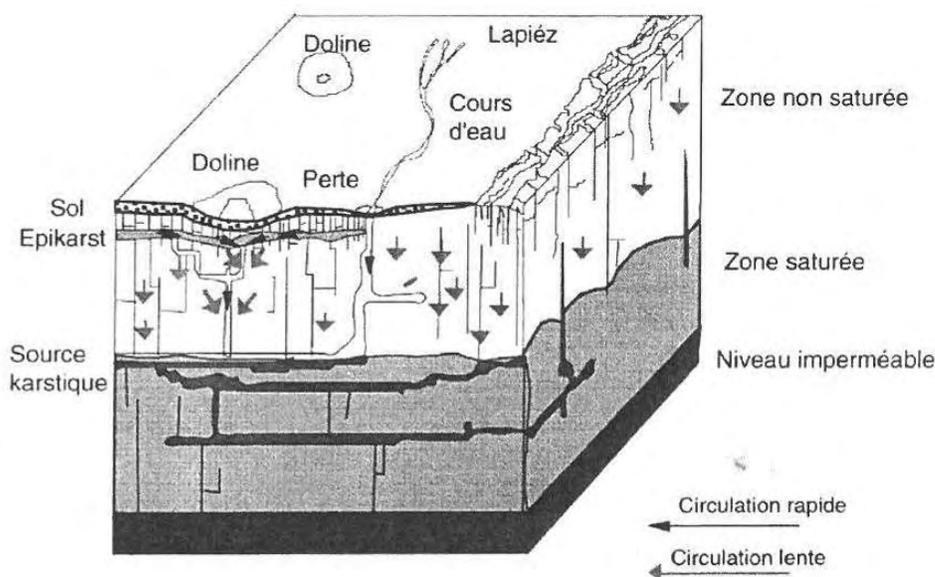
***Figure 18 : systèmes karstiques jurassien et vaclusien (adapté d'après MARSAUD - 1996)***

## **1.5. Les zones du karst**

Le karst est composé de 4 zones qui sont du haut vers le bas:

- **L'épikarst** qui concentre et stocke une partie des infiltrations depuis la surface.
- **La zone d'infiltration composée de :**
  - **La zone vadose** (non saturée) qui transfère les écoulements vers la zone noyée ou le soubassement imperméable (aquiclude). La circulation s'y fait verticalement.
  - **La zone épinoyée** qui est la zone de battement de la nappe (variation du niveau de la nappe entre les périodes d'étiage et de crue).
- **La zone noyée** (saturée) qui se développe principalement à l'aval. Elle s'organise autour d'un axe de drainage ou d'un réseau de conduits karstiques en relation avec la roche encaissante, fissurée et pouvant comprendre des vides de grande taille organisés en ensembles individualisés appelés systèmes annexes au drainage (Mangin).

Le modèle conceptuel présenté ci-après (Figure 19) montre principalement l'existence d'une zone non saturée (vadose) où les écoulements se font verticalement, et d'une zone saturée (ou zone noyée) où les écoulements se font horizontalement. Ce qu'il faut retenir de ce schéma, c'est qu'une partie de l'eau d'infiltration circule rapidement par un système de fractures et de conduits suffisamment larges (quelques jours), mais qu'une autre partie circule lentement par un système de fines fissures (quelques semaines ou mois). C'est ce retard à l'infiltration qui assure la pérennité des débits aux sources karstiques.



**Figure 19 : bloc diagramme d'un modèle conceptuel du karst (d'après DOERFLIGER et ZWAHLEN – 1995)**

## 1.6. Spéléogénèse

Les modèles d'organisation verticale des réseaux karstiques sont classés suivant leur position à l'intérieur du massif calcaire (Figure 20 - Philippe AUDRA – Grottes et karsts de France – Mémoire karstologia – 2010) :

**Les réseaux juvéniles** : une dépendance temporelle. La surrection des massifs calcaires puis le décapage des couvertures imperméables expose l'aquifère fissuré qui commence à se karstifier. Initialement, la surface piézométrique présente un fort gradient donnant un réseau incliné au profil tendu. Le conduit initial, souvent préservé en plafond, se forme en régime noyé, puis s'élargit par surcreusement torrentiel en petits puits, méandre et canyons. Le réseau juvénile correspond à la phase initiale de la plupart des gouffres.

**Le réseau perché** : la contrainte géologique. Quand le toit du soubassement imperméable se trouve au-dessus du niveau de base, l'aquifère est perché, sans zone noyée notable. L'eau traverse

verticalement le calcaire en puits et méandres, elle est collectée dans un drain au contact de l'aquiclude, puis émerge au milieu du versant, souvent au fond d'une reculée karstique, on parle dans ce cas d'émergence jurassienne. L'érosion mécanique peut agrandir rapidement la section du drain pour la transformer en une vaste galerie ébouleuse.

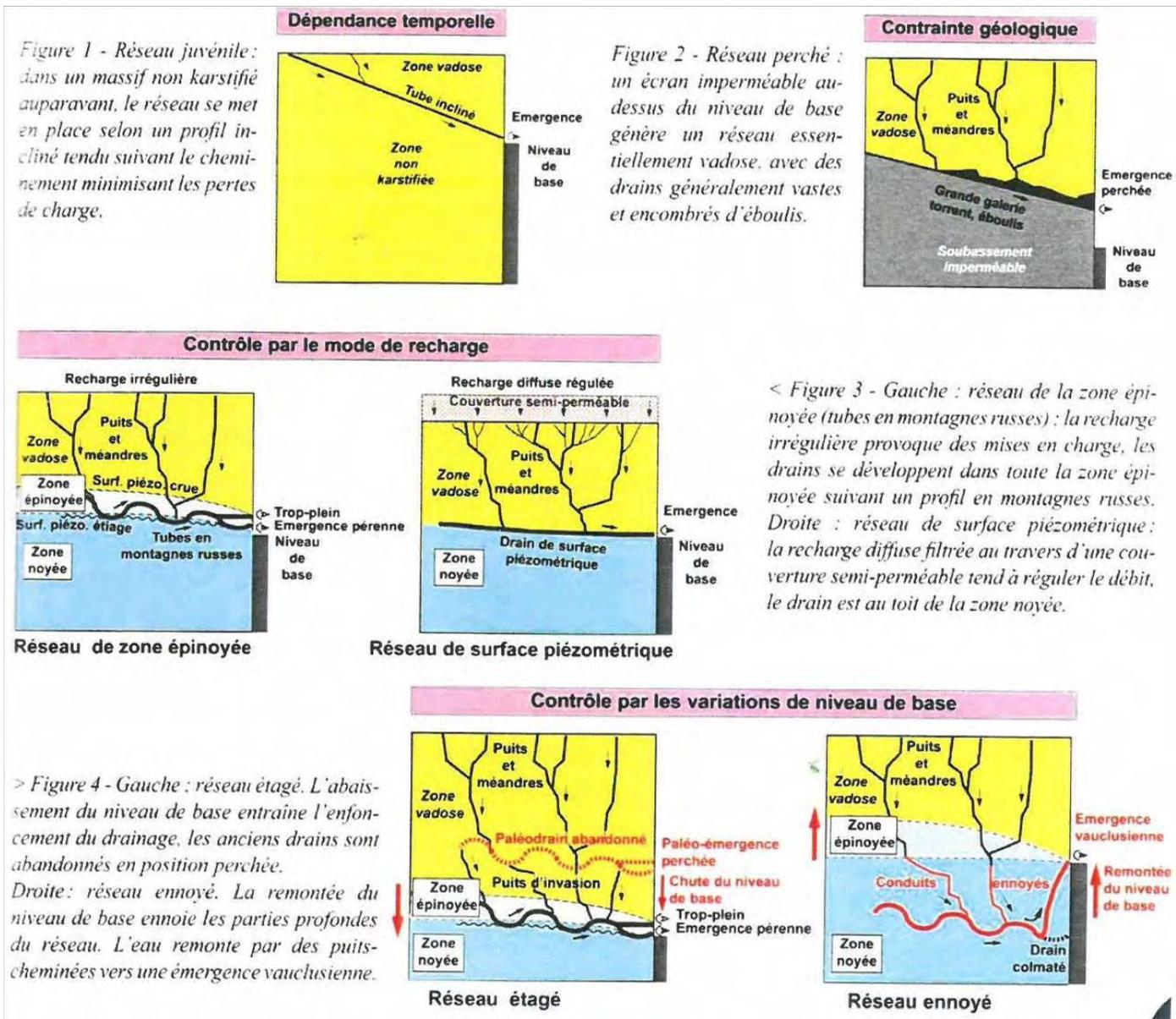
**Le réseau dépendant du niveau de base.** Lorsque l'aquifère se prolonge sous le niveau de base, le karst est barré à l'aval par un écran imperméable. L'émergence se situe au niveau de base, elle détermine la position de la surface piézométrique dans le massif. Le drain collecteur s'établit au toit de la zone noyée, selon le cheminement le plus court minimisant les pertes de charge.

**Le réseau de la zone épinoyée dit en montagnes russes :** une recharge irrégulière. Lors des crues, l'eau ennoie les tubes en montagnes russes. La montée de l'eau peut activer des émergences de trop-pleins. En phase de décrue et à l'étiage, les tubes se dénoient et l'eau circule par de petits conduits en zone noyée. La hauteur des boucles dépend de l'ampleur verticale de la zone épinoyée, donc de l'importance des mises en charge, et finalement de la brutalité des crues.

**Les drains de surface piézométrique :** une recharge régulée. Au contraire, lorsque les crues sont peu importantes, l'eau s'écoule régulièrement au toit de la zone noyée, où se développe un drain très proche de la surface piézométrique : la galerie est partiellement inondée en longs bassins, la pente est faible, les crues peu marquées. Le régime d'écoulement est régulé par le filtre des couvertures semi-perméables (rôle de tampon) qui étalent dans le temps le transfert (infiltration lente des eaux de pluies). Dans un karst dépendant du niveau de base, le changement de position du niveau de base influence directement celle de la surface piézométrique, et donc du collecteur.

**Les réseaux étagés.** L'enfoncement de la vallée génère la formation d'un nouveau drain, sous le drain existant, en rapport avec la nouvelle position du niveau de base. L'ancien drain et l'ancienne émergence sont alors abandonnés et se comblent partiellement de sédiments et de concrétions pour constituer un « étage fossile ». Perché au milieu de la zone vadose, l'ancien drain est recoupé par des puits d'invasion raccordés au drain actif.

**Les réseaux ennoyés.** Lors d'une remontée du niveau de base, les drains sont ennoyés en profondeur. Certains sont colmatés, mais les axes principaux les plus actifs continuent d'assurer l'essentiel du drainage du massif. Un conduit vertical se met alors en place et draine les eaux vers la nouvelle position du niveau de base, formant une émergence vaclusienne.



**Figure 20 : modèles de spéléogénèse (AUDRA - Grottes et karsts de France - KARSTOLOGIA - 2010)**

### 1.7. Type de recharge et concepts décrivant la dynamique d'infiltration

Les régions karstiques sont des milieux où l'eau est souvent absente en surface du fait de la grande perméabilité des terrains. On distingue classiquement 2 types d'alimentation, une alimentation par les précipitations sur la zone de recharge de l'aquifère et une alimentation par les pertes de rivières allochtones, c'est-à-dire les rivières qui drainent des terrains non karstiques avant de rejoindre l'aquifère karstique.

- **Alimentation par les précipitations sur la zone de recharge de l'aquifère (système unaire (Figure 21))**

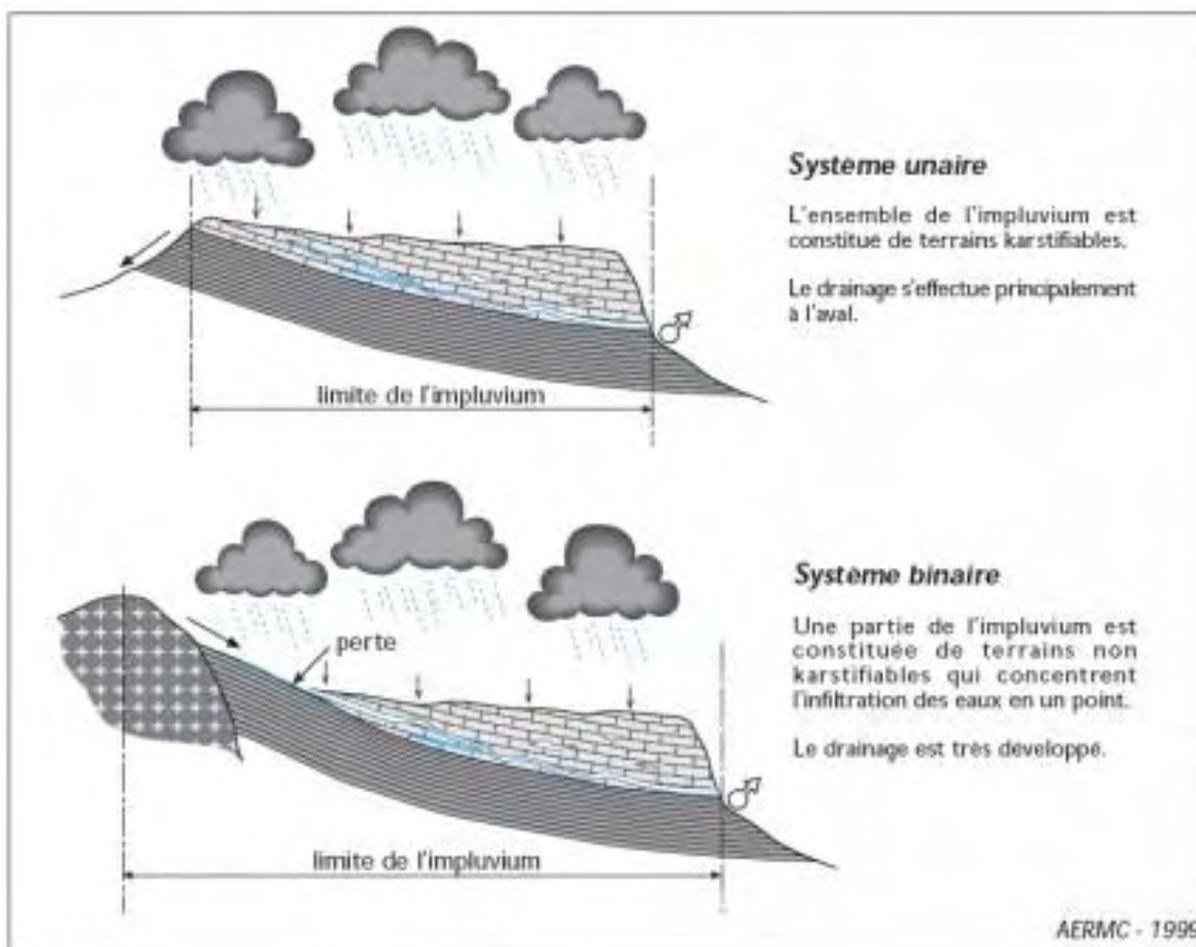
Deux types d'écoulements sont souvent distingués pour décrire l'alimentation par les précipitations : une infiltration lente avec un stockage temporaire possible (aquifère épikarstique) et une infiltration rapide et concentrée qui utilise et élargit les discontinuités sub-verticales de l'épikarst pour rejoindre rapidement la zone saturée (ou zone noyée) du karst sans nécessairement recharger de manière significative les volumes peu perméables de la zone non saturée. Ainsi, des phénomènes de court-circuit par des axes de drainage développés dans la zone d'infiltration permettent d'acheminer les eaux plus rapidement en profondeur (ruissellement souterrain). Ces écoulements rapides ont été mis en évidence par l'utilisation de traceurs géochimiques. Ils permettent entre autre d'acheminer en profondeur une eau ayant un plus fort pouvoir de dissolution et donc de poursuivre la karstification. L'infiltration peut aussi pousser de l'eau préalablement stockée depuis les dernières pluies (effet piston), ce qui apparaît à la lecture de courbes de flux chimique-débit des sources karstiques et sur la signature isotopique des eaux à l'exutoire.

En surface, des formes d'érosion spécifiques aux paysages karstiques témoignent du drainage des eaux vers le milieu souterrain (effondrement, dolines, gouffres). Il est de plus fréquent d'observer des vallées sèches qui témoignent d'un abandon des structures d'écoulement de surface au profit d'un drainage souterrain au fur et à mesure que la karstification s'est développée. L'orientation de ces vallées ainsi que la distribution spatiale des manifestations karstiques (dolines, poljés, cavités, ...) sont des indices de l'organisation de la karstification passée ou actuelle qui peuvent donc être utilisée pour comprendre le fonctionnement du karst pour différentes conditions hydrogéologiques.

Enfin, l'approche systémique des aquifères karstiques permet de décrire l'ensemble de ces processus en définissant le système karstique. Celui-ci reçoit un signal (pluie, température, etc...) le transforme puis renvoi un signal de sortie (débit, température, etc...). Lorsque les limites du système correspondent aux limites de l'aquifère et qu'il n'est pas nécessaire de faire intervenir une autre surface de recharge, le système est qualifié de système karstique unaire (Mangin – 1978).

- **Alimentation par les pertes de rivière allochtone (système binaire (Figure 21))**

Le cas d'une recharge par une rivière allochtone s'apparente au cas d'une infiltration concentrée et rapide puisque les écoulements de surface provenant d'un bassin versant généralement non karstique (fort pouvoir de dissolution) vont s'infiltrer rapidement à la faveur de pertes diffuses ou ponctuelles en liaison directe avec le réseau karstique. Dans ce cas, le système karstique reçoit des eaux précipitées sur une autre surface et la notion de système karstique est étendue pour inclure cette surface : le système est alors qualifié de système karstique binaire (Mangin – 1978).



**Figure 21 : mode de recharge des aquifères karstiques (BRGM -2010)**

## 1.8. Les structures de stockage et de transfert

Le milieu karstique est un milieu à double voire triple porosité : la porosité des drains karstiques, la porosité liée à la fissuration de la matrice et, éventuellement, la porosité matricielle de la roche (calcaires bioclastiques, certaines craies). Ces deux dernières porosités sont regroupées sous le terme de porosité de la matrice fissurée. Chaque porosité joue un rôle plus ou moins déterminant sur les écoulements dans l'aquifère karstique étudié, selon sa nature géologique, sa fracturation et son degré de karstification, ce dernier étant lui-même lié à la distribution initiale des porosités dans la roche.

On peut donc observer des systèmes karstiques ayant des comportements hydrodynamiques très différents du fait de leur structure, ce qui pose le problème de la représentativité des résultats obtenus sur un site particulier.

Il est généralement admis que le transfert dans la zone non saturée est assuré par le réseau de drainage karstique ou, plus simplement le réseau de conduits. Cependant le stockage de l'eau dans un aquifère karstique suscite encore de nombreuses interrogations. Les résultats apportés par les nombreuses études sur le comportement hydrodynamique des karsts témoignent d'un stockage au niveau de l'épikarst drainé par des conduits éventuellement élargis localement, ou au niveau de volumes peu perméables (matrice fissurée ou non) ou encore dans des vides karstiques de grande dimension mal connectés au système de drainage. Cette diversité de représentation conceptuelle du lieu de stockage traduit souvent la diversité des types d'aquifères karstiques étudiés.

### **1.9. Conséquences sur les échanges surface/souterrain**

Les aquifères karstiques à recharge allochtone constituent donc des hydrosystèmes privilégiés pour étudier les échanges quantitatifs et qualitatifs entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Le ruissellement généré à la surface d'une formation non karstique modifie peu à peu les structures de drainage karstique au contact avec l'aquifère et augmente la capacité d'échange des eaux entre la surface et le souterrain. La structure de drainage karstique est donc l'élément essentiel qui va contrôler la dynamique des échanges entre le karst et la rivière.

L'étude hydrodynamique des interactions karst/rivière nécessite de comprendre et de décrire le comportement couplé du bassin versant et de l'aquifère karstique (§1.12 et 1.13).

### **1.10. Conséquences sur la vulnérabilité de la ressource vis-à-vis d'une pollution**

La circulation des eaux souterraines peut être très rapide entre la zone de recharge et l'exutoire. La forte perméabilité en grand des terrains karstiques se traduit souvent par des pertes partielles ou totales des cours d'eau qui les traversent, ce qui rend les aquifères karstiques extrêmement vulnérables à une pollution chronique ou accidentelle en surface. En cas d'exploitation AEP, cette forte vulnérabilité justifie l'installation de système d'alerte de pollution en amont des zones de pertes de rivière. Le réseau d'adduction doit dans ce cas avoir assez d'autonomie pour subvenir aux besoins AEP tant que le critère de qualité défini par la réglementation sur les eaux brutes n'est pas atteint.

La vulnérabilité vis-à-vis d'une pollution accidentelle peut cependant être relativisée compte tenu de l'élimination rapide du polluant dès qu'il atteint le réseau de conduit, ou bien de sa forte dilution/dispersion si la pollution se produit loin du réseau.

### **1.11. Conséquences sur la vulnérabilité associée au risque d'inondation dans les bassins versants à fortes composantes karstiques**

La contribution du karst aux crues de surface est une problématique relativement récente. Bien que ce type d'inondation ne soit pas un phénomène nouveau, ses effets sont de plus en plus dévastateurs en raison de l'évolution de l'occupation des sols et de l'urbanisation croissante.

Les inondations en milieu karstique se manifestent sous deux formes :

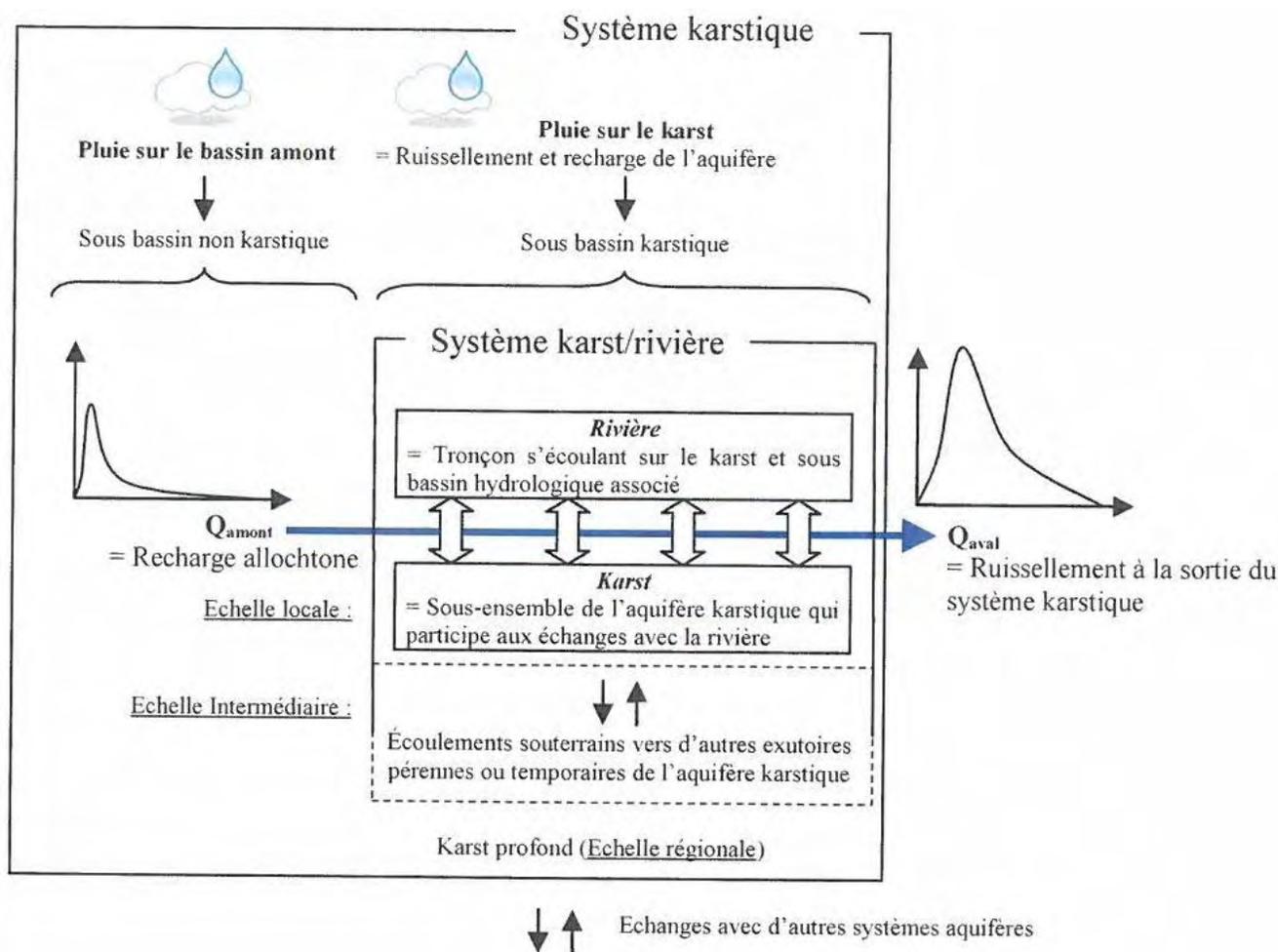
- Une saturation des terrains de surface consécutive à des précipitations extrêmes qui induisent une saturation de la capacité d'absorption du karst. Celle-ci est favorisée dans les zones dépressionnaires par un colmatage possible des drains et des fissures qui ne peuvent plus drainer les eaux, un sous dimensionnement des réseaux de drainage karstique lié notamment à une modification de l'occupation du sol et une augmentation du ruissellement vers les zones de pertes ou encore le contraste de perméabilité entre l'épikarst et le karst plus profond qui provoque l'apparition d'un aquifère épikarstique.
- Une contribution rapide et intense des eaux karstiques aux écoulements de surface, consécutive à une forte mise en charge du karst et qui se traduit en surface, par une augmentation rapide du débit des émergences karstiques drainées par le cours d'eau, auquel s'ajoute le débit d'émergences karstiques temporaires de type trop plein.

Le karst, en raison de fortes vitesses d'infiltration offre néanmoins en situation d'étiage une capacité d'absorption des crues de surface non négligeable.

### **1.12. Le système karst/rivière**

L'approche systémique et fonctionnelle des aquifère karstiques permet de caractériser de manière synthétique l'ensemble des processus complexes qui contrôlent le fonctionnement d'un aquifère karstique.

De la même manière, une définition d'un système karst/rivière en tant qu'élément du système karstique a été proposée par Bailly-Comte pour décrire de manière globale à l'intérieur de ce système les interactions hydrodynamiques entre les écoulements de surface et les écoulements souterrains. Ainsi, si on nomme  $Q_{\text{amont}}$  le débit correspondant à la recharge allochtone et  $Q_{\text{aval}}$  le débit à la sortie du massif karstique, le système karst/rivière ainsi que ses interactions internes peuvent être schématisées (Figure 22).



**Figure 22 : représentation schématique des relations karst/rivière (BAILLY-COMTE - 2008)**

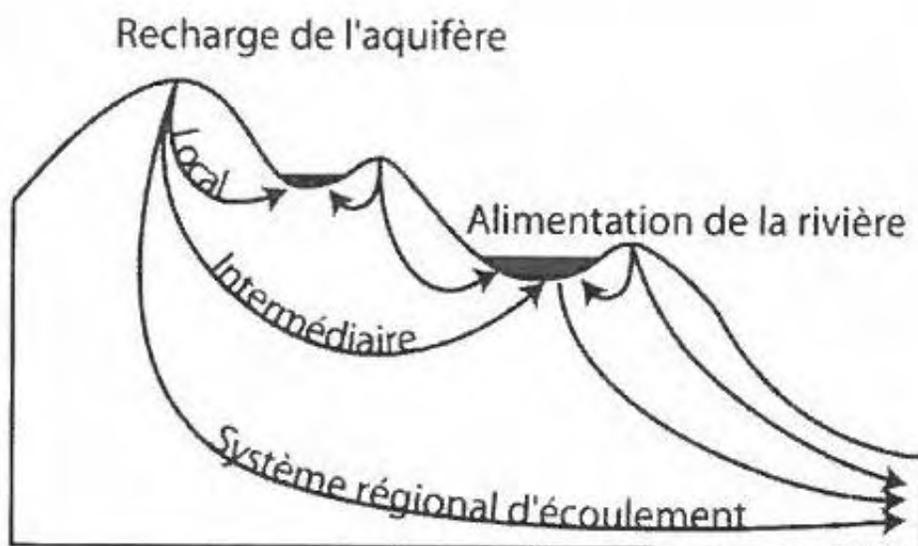
Le transfert d'une crue de surface à travers le système karst/rivière est donc contrôlé par le sous-système Rivière et le sous-système Karst ; Le premier caractérise le transfert de l'onde de crue depuis le bassin amont et les apports par ruissellement direct ou de sub-surface sur les versants. Le second représente un sous-ensemble de l'aquifère karstique de taille variable selon l'échelle d'observation (locale ou intermédiaire), caractérisé par la géométrie de son réseau de drainage et ces paramètres hydrodynamiques. Ces deux sous-systèmes interagissent tout le long de la propagation de la crue et comme pour tout type d'aquifère, seule une approche couplée permettra de décrire l'évolution de l'onde de crue de surface. Le système karst/rivière apparaît comme un élément du sous-système infiltration si la rivière est infiltrante, ou bien comme un élément du sous-système karst noyé (zone saturée) si la rivière est drainante vis-à-vis de l'aquifère et que des exurgences participent au ruissellement. Il correspond dans ce cas au sous-système karstique associé à l'ensemble des exutoires de trop plein dans la rivière.

### 1.13. Les interactions hydrodynamiques surface/souterrain en milieu karstique

#### 1.13.1. Rappels sur l'organisation spatiale des systèmes d'écoulement

Les eaux souterraines et les eaux de surface constituent deux éléments souvent indissociables d'un même système hydrologique (*Sophocleous – 2002*). L'étude de leur interaction implique que la formation aquifère soit affleurante ou sub-affleurante, ce qui limite l'étude au cas des aquifères libres.

Différentes échelles d'observation (Figure 23) sont utilisées pour simplifier l'étude des systèmes d'écoulements entre la surface et le souterrain [5].



**Figure 23 : système d'écoulement local, intermédiaire et régional (DAHL et al - 2007)**

A l'échelle locale, les interactions berge/rivière et les écoulements souterrains s'organisent selon les zones d'exhaure les plus proches matérialisées par des sources ponctuelles ou diffuses dans les cours d'eau et les lacs.

A l'échelle régionale, les écoulements mettent en mouvement les masses d'eau souterraines, depuis les zones de recharge jusqu'aux rivières majeures, les lacs ou encore les mers.

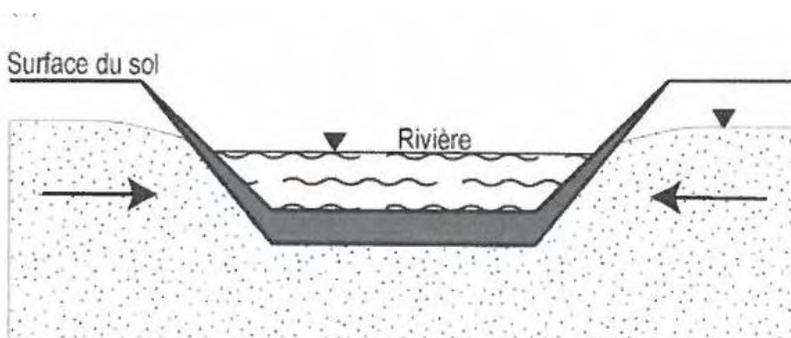
Une échelle intermédiaire est distinguée pour les écoulements qui concernent un sous-ensemble non négligeable de l'aquifère.

De manière générale, les zones à fort relief tendent à s'organiser à l'échelle locale, tandis que pour les régions plates, les écoulements souterrains s'organisent plus souvent à l'échelle régionale (Sophocleous – 2002).

### 1.13.2. Sens et direction d'écoulement

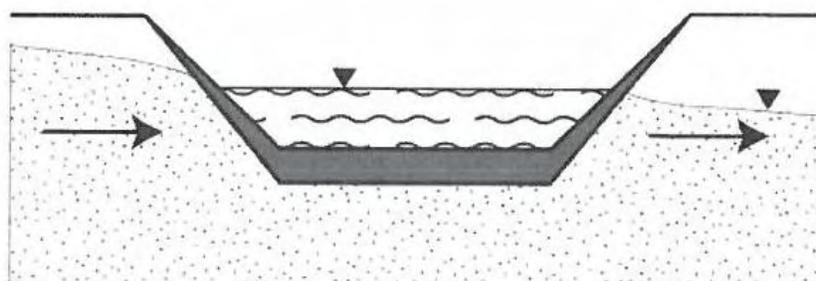
Les échanges aquifère/rivière sont variables à la fois dans le temps et dans l'espace suivant l'échelle à laquelle s'organisent les écoulements. Le sens des écoulements entre la rivière et l'aquifère est contrôlé par la différence entre la charge hydraulique de l'aquifère et la cote de la surface libre de la rivière. Ainsi, plusieurs configurations peuvent être considérées selon l'échelle des systèmes d'écoulement et la charge de l'aquifère :

**Cas d'une rivière drainante** (Figure 24) : la rivière draine l'aquifère, comme lors d'un soutien d'étiage par l'aquifère. La rivière matérialise alors une condition limite de potentiel égale à la cote de la surface libre.



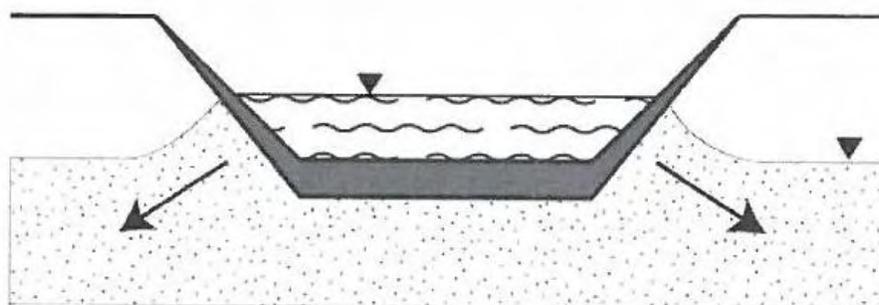
**Figure 24 : rivière drainante (PETERSON ET WILSON - 1988)**

**Echelle intermédiaire ou régionale** (Figure 25) : l'interaction entre l'aquifère et la rivière ne perturbe pas l'organisation des écoulements souterrains. Ce cas peut se rencontrer à proximité d'une étendue d'eau qui impose la direction générale des écoulements souterrains (lacs, étangs, etc...) ou encore pour des raisons anthropiques lors de pompage dans la nappe alluviale.



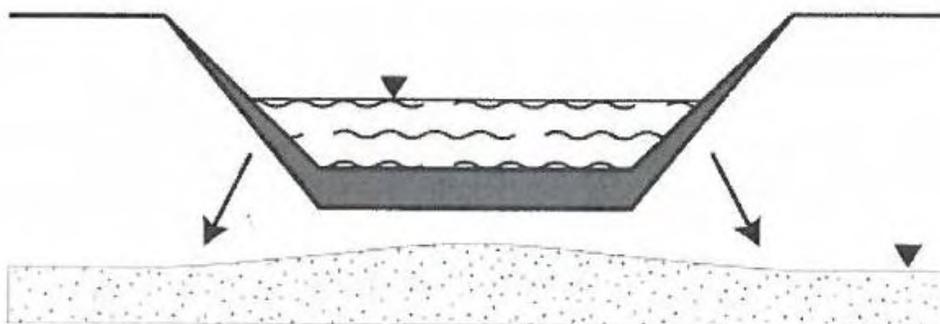
**Figure 25 : organisation des écoulements à une échelle intermédiaire ou régionale (PETERSON ET WILSON - 1988)**

**Cas de la rivière infiltrante** (Figure 26) : la rivière reste connectée à l'aquifère et matérialise toujours une condition limite de potentiel, mais le sens des écoulements est inversé par rapport à la situation de la rivière en position drainante. La rivière alimente alors l'aquifère, elle est qualifiée de rivière infiltrante.



***Figure 26 : rivière infiltrante (PETERSON ET WILSON - 1988)***

**Cas de la rivière perchée** (Figure 27) : un cours d'eau perché déconnecté de la zone saturée de l'aquifère constitue le cas d'une véritable infiltration : un flux d'eau d'infiltration transite par la zone non saturée et alimente l'aquifère ; la rivière est toujours infiltrante mais constitue cette fois une condition limite de flux d'alimentation souvent assimilée à la capacité d'infiltration du milieu constituant la zone non saturée. Ce type d'interaction caractérise le fonctionnement des rivières ou cours d'eau éphémères.

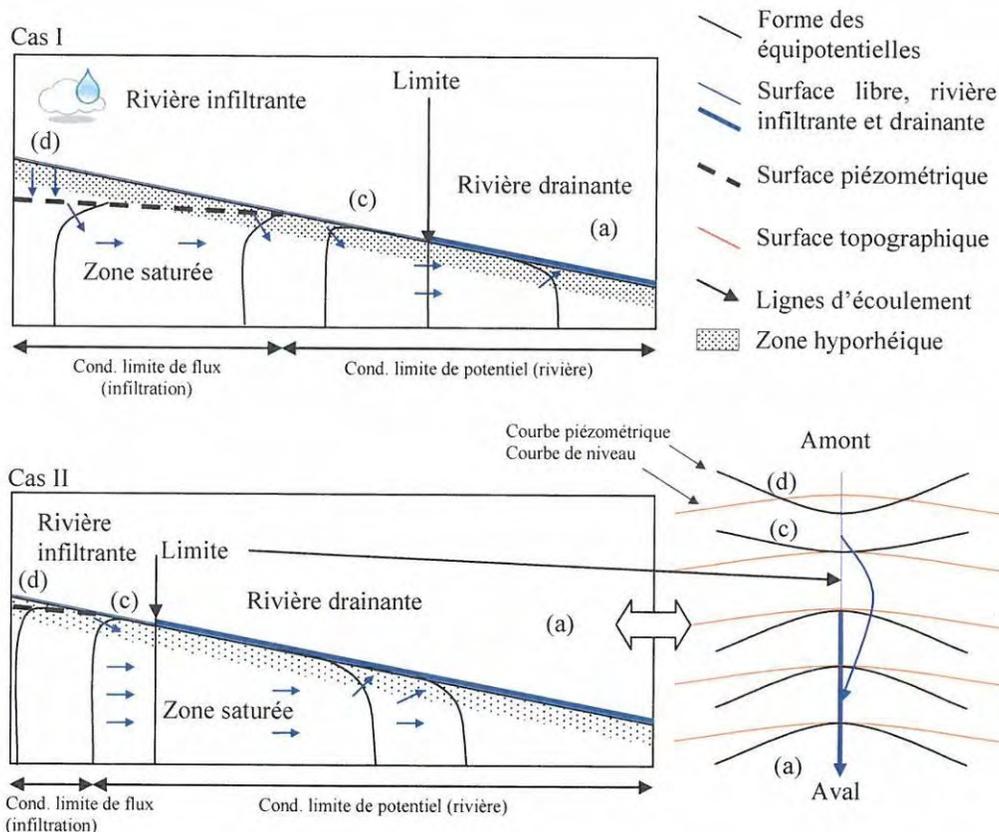


***Figure 27 : cours d'eau perché (PETERSON ET WILSON - 1988)***

A l'échelle du bassin versant, la rivière peut être drainante sur une partie de son cours et infiltrante sur une autre partie ; de plus, un secteur sur lequel la rivière est drainante à l'étiage peut devenir infiltrant en période de crue, et inversement dans le cas d'une montée des eaux souterraines.

Ainsi, les différents cas de figures présentés ci-avant peuvent se rencontrer au niveau du bassin versant lors d'un épisode pluvieux ; on passe généralement d'un cours d'eau perché en tête de bassin au cas

d'un cours d'eau infiltrant puis à un cours d'eau drainant à l'aval. Il existe donc au moins une ligne fictive limite qui sépare le cas de la rivière infiltrante du cas de la rivière drainante et qui correspond à la frontière entre la zone de recharge et la zone d'alimentation de la rivière par l'aquifère (Figure 28).



**Figure 28 : schématisation en coupe et plan de la limite entre une rivière infiltrante et une rivière drainante au début (cas 1) et à la fin (cas 2) d'un épisode pluvieux (d = rivière perchée, c = rivière infiltrante, a = rivière drainante)**

Les équipotentiels sont déformés au voisinage de la rivière dans les trois directions de l'espace ; l'orientation de la concavité définit le sens des échanges entre l'aquifère et la rivière, tandis que l'apparition d'une zone non saturée en amont traduit le cas d'une rivière déconnectée de la zone saturée de l'aquifère. Dans ce contexte, certaines lignes d'écoulements permettent d'envisager un court-circuit des écoulements de surface par les écoulements souterrains.

L'interface entre les eaux de surface et le milieu aquifère constitue la zone de mélange des eaux de surface et des eaux souterraines lorsque la rivière est connectée à la zone saturée de l'aquifère. Ce milieu peut avoir des propriétés hydrodynamiques différentes du milieu aquifère sous-jacent.

### 1.13.3. Synthèse sur la classification des échanges aquifères/rivières

D'une manière générale, il est proposé une classification des interactions hydrodynamiques selon :

- Le type de connexion hydraulique entre la rivière et la zone saturée de l'aquifère : 2 cas sont envisagés, la rivière pouvant être connectée ou déconnectée (perchée).
- Le sens des écoulements : 2 cas sont envisagés, la rivière pouvant être drainante ou infiltrante en fonction des variations saisonnières.
- La direction des écoulements souterrains au voisinage de la rivière : 2 cas sont envisagés, les écoulements souterrains parallèles à la rivière sont qualifiés de sous écoulements tandis que les écoulements perpendiculaires correspondent aux écoulements de base.

### 1.13.4. Conséquences de l'exploitation de l'aquifère karstique sur les échanges karst-rivière

#### **Impacts quantitatifs :**

Les effets quantitatifs des pompages en milieu karstique sur les échanges karst-rivière dépendent :

- Des caractéristiques du système karstique (jurassien, vauclusien) ;
- De la position du point de prélèvement dans la structure de la zone noyée du karst en relation plus ou moins étroite avec de la rivière : dans un conduit ou système annexe au drainage, l'effet est ressenti parfois à plusieurs kilomètres ; le pompage crée une inversion de gradient hydraulique entre le conduit et les zones capacitatives, mais d'une façon qui peut être durable, ce qui permet des transferts d'eau non négligeables. A contrario, le pompage peut permettre un effacement des débits des rivières par gommage des crues.
- des conditions de la recharge du système karstique et notamment la part d'alimentation du karst par rapport à celle de la rivière ;
- Des variations saisonnières de cette recharge ;
- de l'importance et de la durée du pompage : le pompage induit localement ou régionalement un manque à gagner pour la rivière suivant la multiplicité et l'importance des pompages. Comme dans les autres types d'aquifères, les prélèvements simultanés sur les réserves, surtout lorsqu'ils interviennent dans le réseau de drainage, de type vauclusien, ont un effet cumulatif.

### **Impacts qualitatifs :**

Les impacts qualitatifs des pollutions liés aux échanges karst-rivière sont définis suivant leur caractère diffus ou ponctuel et à plusieurs échelles :

- L'impact d'une pollution des eaux de la rivière sur les eaux souterraines (vulnérabilité des pompages ayant une plus ou moins forte dépendance vis-à-vis du réseau superficiel) aura un caractère local aussi bien dans le cas d'une pollution ponctuelle que diffuse.
- L'impact des pollutions des eaux souterraines sur la qualité des eaux de surface implique la vulnérabilité des usages en aval de la rivière, la dégradation de la qualité des eaux de surface et de son état écologique ; ce type d'impact peut-présenter un caractère local dans le cas d'une pollution ponctuelle sur l'ouvrage d'exploitation, ou régionale dans le cas d'une pollution diffuse.

#### 1.13.5. Principe de gestion active

Pour évaluer en général, les enjeux de l'exploitation de l'aquifère karstique, et plus spécifiquement la caractérisation des échanges bilatéraux karst-rivière, il est donc nécessaire d'appréhender le fonctionnement du système à partir d'une approche réalisée en plusieurs phases :

- identifier le type de système (fissuré, karstique fonctionnel ou karstique non fonctionnel) et de mettre en évidence la présence de réserves ;
- caractériser l'origine de l'eau, les conditions d'écoulement, la zone noyée, la part d'alimentation par le karst, par la rivière ;
- démontrer les impacts du prélèvement envisagé ;
- évaluer le fonctionnement de l'ensemble du système en condition d'exploitation, les limites du prélèvement.

Dans le cas des systèmes karstiques évolués et fonctionnels, les paramètres et les lois d'écoulement classiquement utilisés pour caractériser un milieu aquifère et simuler son comportement ne sont plus adaptés. L'interprétation des pompages d'essai doit faire appel à une démarche spécifique. Le but n'est plus de déterminer les caractéristiques de la structure du milieu, mais de décrire les réponses obtenues au point de pompage (hydrodynamiques et physico-chimiques) et si possible à l'exutoire du système pour caractériser le fonctionnement de la zone noyée. Ces informations fournissent les éléments permettant d'évaluer le rôle des facteurs déterminants pour une éventuelle exploitation : position du point de pompage dans le système et de l'axe de drainage par rapport aux réserves, impacts du prélèvement sur le réseau superficiel. Elles permettent aussi d'envisager la gestion active de l'aquifère.

La gestion active d'un aquifère karstique n'est possible qu'à certaines conditions :

- pomper dans un forage interceptant le conduit karstique saturé en eau et situé sous le niveau de l'exutoire ;

- l'envisager sur des systèmes vauclusiens mais pas sur des systèmes jurassiens. Le conduit karstique doit être situé en profondeur sous le niveau de l'émergence. Il est connecté à la matrice renfermant les réserves de l'aquifère. Le pompage permet ainsi de solliciter les réserves de l'aquifère.

La gestion active d'un aquifère karstique peut être définie comme suit : l'exploitation des eaux souterraines à l'aide d'un pompage à un débit supérieur à celui du débit d'étiage de la source en conditions naturelles, permet de solliciter les réserves de l'aquifère particulièrement lors des périodes de basses eaux, les réserves se reconstituant lors des périodes de recharge. Le volume d'eau prélevé à l'échelle d'un ou plusieurs cycles hydrologiques doit être inférieur à la recharge de l'aquifère, afin de ne pas surexploiter ce dernier. Les aquifères karstiques de type vauclusien sont particulièrement adaptés à ce type de gestion du fait de leur importante réserve accessible à proximité de la source, un forage interceptant le conduit karstique peut fournir un débit important et solliciter un volume important d'eau issu des réserves de l'aquifère et finalement la recharge est très efficace du fait que l'essentiel des précipitations va s'infiltrer dans l'aquifère. Ce principe a l'avantage de réguler la ressource, en gommant également les crues au profit du soutien du débit d'étiage.

## **2- LES UNITES KARSTIQUES JURASSIQUES DE LA BORDURE SOUS-CEVENOLE**

### **2.1. Stratigraphie – Lithologie**

#### **2.1.1. Stratigraphie du réservoir karstique des calcaires jurassiques**

Le **Jurassique** (-205 à -135 millions d'années) est la seconde période de l'Ere Secondaire. Le nom de « Jurassique » fait référence aux calcaires rencontrés dans le Jura.

L'ensemble karstique de la bordure sous-cévenole est une étroite bande de calcaires jurassiques étirée sur environ 45 km de longueur suivant un axe orienté Nord-Est/Sud-Ouest et situé entre les massifs métamorphiques et cristallins à l'Ouest, de la faille des Cévennes à l'Est.

Le Jurassique est concordant avec le Trias qui est visible à l'affleurement à l'Ouest (Figure 29). Son épaisseur varie de 375 m à 830 m au Nord et de 565 m à 1020 m au Sud.

A l'Est de la bande où il affleure, le Jurassique a été reconnu sous couverture néocomienne à 900 m et 950 m de profondeur sur les forages exploratoires profonds réalisés sur les communes de Villeneuve-de-Berg et Valvignères et à près de 1000 m de profondeur sur la commune de Vallon-Pont-d'Arc.

Le système Jurassique est composé de 3 séries[6] :

Le **Lias** (Hettangien à Toarcien) est une couche géologique de 115 m à 375 m d'épaisseur, majoritairement carbonatée (dolomies, calcaires, calcaires gréseux et marnes).

Le **Dogger** (Aalénien à Callovien) est également composé de formations carbonatées, d'une épaisseur qui varie fortement du Nord (60 m à 140 m) au Sud (250 m à 330 m). Il se présente sous un faciès majoritairement calcaréo-marneuse.

Le **Malm** (Oxfordien, Kimméridgien et Tithonique) est essentiellement calcaire et forme le réservoir aquifère de l'ensemble karstique de la bordure sous-cévenole au-dessus des marnes oxfordiennes. L'épaisseur totale est de 200 m à 315 m dont 140 m à 220 m de calcaires francs. Le Kimméridgien passe de calcaires argileux à des calcaires gris-bleus et le faciès Tithonique correspond à des calcaires blanchâtres.

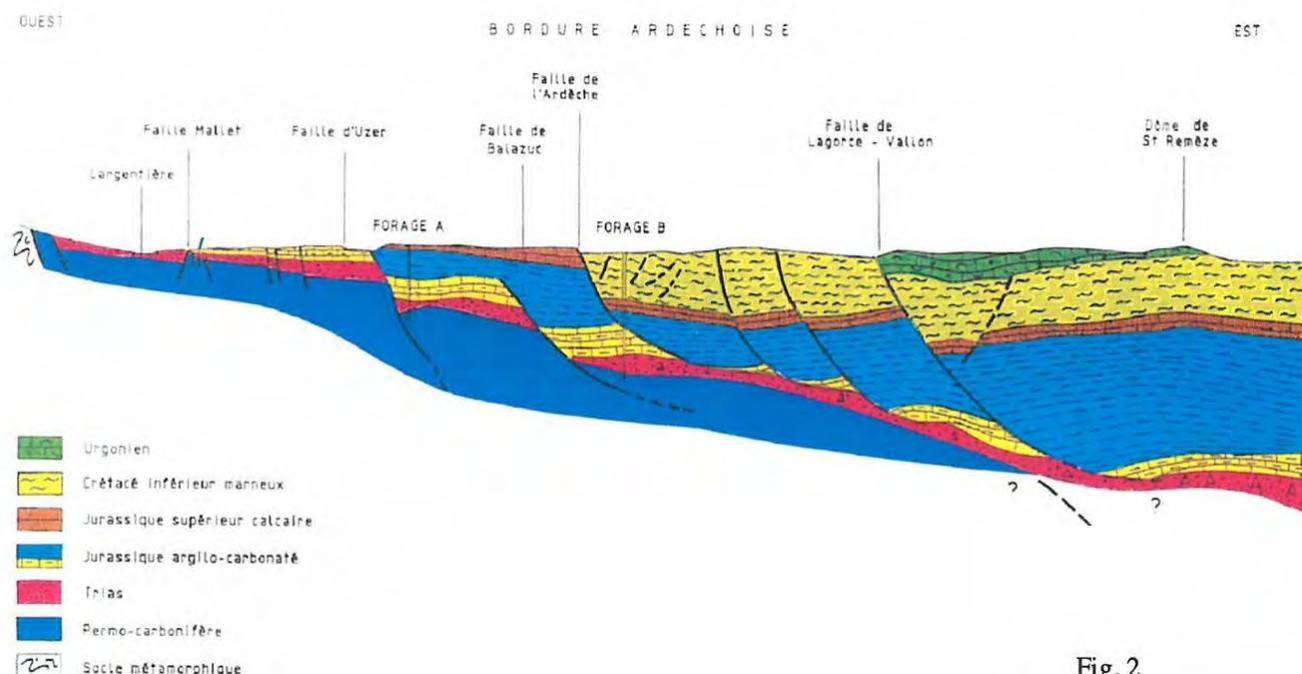


Fig. 2

**Figure 29 : coupe géologique de la bordure ardéchoise (CAHIER DE MEMOIRE D'ARDECHE - 2013)**

### 2.1.2. Lithologie du mur du réservoir karstique des calcaires jurassiques

Du fait de la configuration tectonique, les affleurements des terrains formant le mur de l'ensemble karstique de la bordure sous-cévenole sont situés au Nord-Ouest de cet ensemble. Il s'agit :

- **Du Trias**, transgressif et discordant sur le socle, composé du :
  - Bundsandstein formé de 30 à 80m de conglomérats et grès arkosiques renfermant un horizon salifère et évaporitique (gypse et anhydrite) épais de 2 à 40m ;
  - Muschelkalk formé de calcaires dolomitiques jaunâtres encadrés par des argiles dolomitiques noirâtres dont les épaisseurs varient de 10-25m à 20-100m ;

- Keuper qui débute par un horizon salifère de 50 à 100m d'épaisseur puis est essentiellement formé d'argiles et de marnes bariolées gréseuses (épaisseur comprise entre 20 et 200m), localement dolomitiques ; le Keuper est couronné par les grès, marnes noires et calcaires gréseux du Rhétien, épais de 5 à 35m.
- **Du Lias**, partie inférieure du Jurassique, composé de terrains majoritairement carbonatés sur une épaisseur totale de 115 à 375m, avec :
  - L'Héttangien, épais de 40 à 175m qui comprend un complexe carbonaté à la base formé de 10m au maximum de calcaires gris, surmonté de 10 à 15m de calcaires argileux gris à l'aspect noduleux couronnés par une dolomie compacte gris foncé, épaisse de 30 à 50m et pouvant atteindre 100 à 150m dans le bassin du Gardon de Mialet ou pouvant disparaître pour laisser place à des calcaires (Les Vans, Aubenas) ;
  - Le Sinémurien, épais de 40 à 120m, représenté par une partie inférieure composée de calcaires argileux gris bleu comportant des lits marneux sur 30 à 60m, et d'une partie supérieure de calcaires bioclastiques bleus à chailles, épais de 40 à 60m d'Alès à St-Ambroix, mais pouvant passer à des calcaires à entroques bistres et des calcaires gris massifs à silex, épais de seulement 8 à 10m à Laurac, au Sud de Largentière ;
  - Le Pliensbachien, épais de 30 à 70m, également formé d'une partie inférieure (Carixien) de calcaires argileux gris bleu et de marnes grises, épaisses de 10-20m au Nord d'Anduze jusqu'à 40m au Sud de la Grande Combe mais remplacée par 10m de calcaires gréseux riches en grains de quartz à Laurac, et d'une partie supérieure (Domérien) constituée de marnes grises feuilletées sur 20 à 30m d'épaisseur ;
  - Le Toarcien, épais d'une dizaine de mètres qui renferme les schistes cartons à sa base (marnes noirâtres, bitumineuses indurées) et divers faciès épais de seulement quelques mètres au sommet (marnes de Saint-Ambroix, calcaires au Nord de Saint-Paul-le-Jeune).
- **Du Dogger**, partie médiane du Jurassique qui comprend essentiellement des terrains carbonatés sur une épaisseur totale qui varie fortement du Nord (60 à 140m) au Sud (250 à 330m) avec :
  - L'Aalénien et le Bajocien, série calcaréo-gréseuse composée de calcaires en miches, gréseux spathiques ou à entroques et de marnes de grises ; leur épaisseur atteint 80 à 100m autour d'Anduze, n'est plus que de 10-20m à Saint-Ambroix et s'annule dans la région de Joyeuse ;
  - Le Bathonien formé de calcaires à entroques gris foncés à jaunâtres passant à des dolomies vers Anduze et à des marnes noires feuilletées aux environs de Joyeuse ; son épaisseur varie de 10m au Nord d'Anduze à 100m au Sud ;

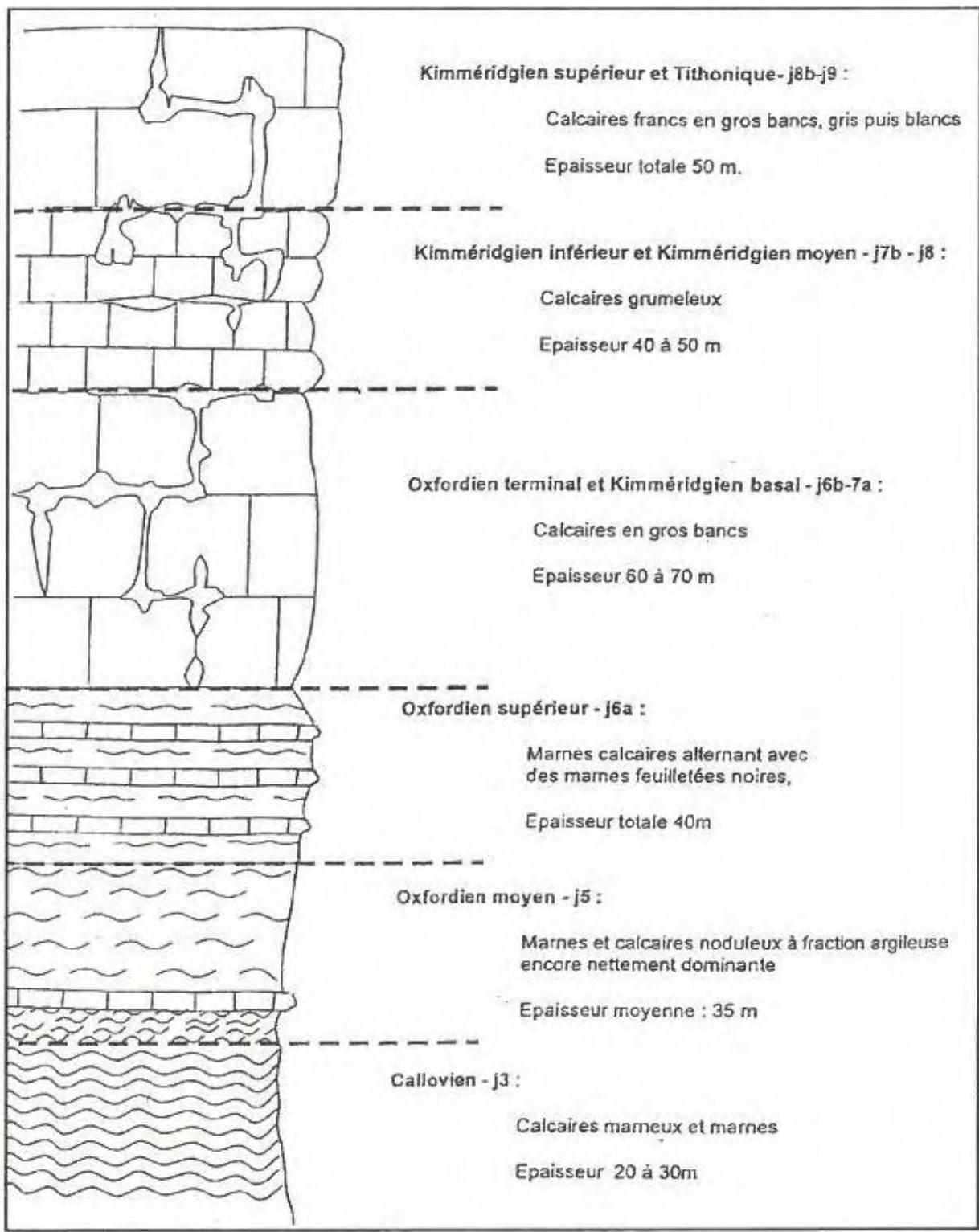
- Le Callovien, incomplet, représenté par 50 à 130m de marnes grises ou noires avec des intercalations de petits bancs de calcaire argileux grisâtre.

### 2.1.3. Lithologie du réservoir karstique des calcaires jurassiques

**Le Malm**, partie supérieure du Jurassique, est composé essentiellement de terrains calcaires qui forment le réservoir aquifère de l'ensemble karstique de la bordure sous-cévenole, à l'exception de la base de l'Oxfordien qui est formée de marnes. L'épaisseur totale du Malm est de 200 à 315m dont 140 à 220m de calcaires francs. De bas en haut, on trouve (Figure 30) :

- **L'Oxfordien**, qui après lacune de la partie inférieure, débute directement à l'Oxfordien moyen par des calcaires grumeleux à patine rousse et des marnes gris bleutées sur une épaisseur de 20 à 35m ; la partie supérieure forme la base du réservoir aquifère avec 70 à 100m de calcaires bruns en bancs épais ;
- **Le Kimméridgien** qui forme l'essentiel du réservoir karstique avec, sur 40 à 60m, des calcaires argileux lités, beiges, comportant de petits niveaux de marnes à la base puis, sur 50 à 120m, des calcaires gris bleus à patine blanchâtre, disposés en gros bancs métriques, formant les falaises caractéristiques de la région ;
- **Le Portlandien, sous faciès Tithonique**, calcaire blanchâtre à pâte fine, massif de 20 à 80m d'épaisseur, se présentant sous la forme de bancs métriques, généralement difficile à distinguer du Kimméridgien.

Pascal [7] signale que le Kimméridgien inférieur et le Kimméridgien-Portlandien diminuent progressivement d'épaisseur vers le Nord : le premier, qui mesure 60m d'épaisseur sur les Gras des Vans, disparaît à partir de Chauzon tandis que le second, épais de 80 à 100m dans l'extrême Sud se réduit à 30-50m au col de Valaurie.



**Figure 30 : stratigraphie et karstification des formations géologiques de la bordure cévenole (BRGM - 1998)**

#### 2.1.4. Lithologie du toit du réservoir karstique des calcaires jurassiques

Le Crétacé n'est représenté que dans sa partie inférieure car toute la région a émergé après le Barrémien. De bas en haut, on trouve :

- Le Bériasien constitué de 20 à 40m de calcaires argileux noduleux gris cendrés présentant des lits marneux ; il peut encore localement faire partie du réservoir karstique ;
- Le Valanginien représenté par une épaisse série de marnes grises ou bleutées avec des intercalations de calcaires argileux est épais de 100 à 100m et forme le véritable toit du réservoir karstique ;
- L'Hauterivien se présente sous forme de 100 à 150m de calcaires argileux grisâtres avec des intercalations de marnes feuilletées grises surmontés de 60 à 80m de calcaires compacts beiges et de marnes noduleuses grises ;
- Le Barrémien, envahi par le faciès urgonien, est un calcaire récifal, blanc, pur, massif, en bancs épais, d'une puissance de 80 à 100m ; il forme l'essentiel du réservoir de l'ensemble karstique du Bas-Vivarais et termine la série secondaire.

Le Quaternaire est représenté par les terrasses alluviales des principaux cours d'eau, dont l'Ardèche, l'Ibie, ainsi que des dépôts cryoclastiques, anthropiques, des éboulis, etc... peu épais, très localisés.

## 2.2. Tectonique

Le socle a subi l'influence des orogènes hercynienne et alpine alors que la couverture secondaire à laquelle appartient l'ensemble karstique de la bordure sous-cévenole n'a subi que l'orogène alpine. Ces deux unités, au style tectonique distinct, sont séparées par le Trias qui représente un niveau de décollement (*Bosredon – 1985*).

### 2.2.1. L'orogène hercynienne

L'orogène hercynienne se traduit essentiellement par des structures tardi-hercyniennes dont la plus connue est la faille des Cévennes ou faisceau cévenol d'orientation NNE-SSW.

Au Trias, la tectonique se manifeste par quelques variations d'épaisseur imputables à des mouvements épirogéniques importants et synsédimentaires.

Le socle est ensuite pénéplané puis la mer jurassique envahit la région. Le Lias supérieur et la base du Dogger subissent des mouvements épirogéniques dont le maximum d'intensité se situe entre le Domérien et le Bathonien : il s'en suit une subsidence différentielle qui fait apparaître des bassins séparés par des seuils. De nombreux phénomènes de distension apparaissent : flexures, failles

synsédimentaires, variations d'épaisseur avec rejeu possible des accidents tardi-hercyniens de direction cévenole.

Le Crétacé est le siège de mouvements verticaux de grande amplitude qui donnent naissance à la fosse vocontienne provoquant un épaissement des séries à l'Est.

### 2.2.2. La phase pyrénéo-provençale

Appartenant à l'orogénèse alpine, c'est une phase de compression horizontale à raccourcissement Nord-Sud, globalement datée de l'Eocène. Les accidents cévenols transverses à cette direction de raccourcissement jouent en décrochements sénestres avec un rejet total de 20 km.

L'amplitude de ces mouvements diminue du Sud vers le Nord : au Nord d'Alès, le plissement devient presque nul : on note plus que quelques plis d'axe Est-Ouest à grand rayon de courbure (synclinal de St-André-de-Cruzières, anticlinal de St-Paul-le-Jeune).

### 2.2.3. La phase oligo-miocène

Cette phase de distension a réutilisé les fractures antérieures en les faisant rejouer en failles normales de direction moyenne d'allongement Nord/Ouest-Sud/Est, perpendiculairement aux principaux accidents de direction cévenole. Cette distension généralisée dans le Sud de la France est à l'origine de la création de nombreux fossés tels que celui d'Alès – Barjac. La région suit un effondrement en marches d'escalier avec exhaussement apparent du socle cristallin.

### 2.2.4. La phase mio-pliocène

Cette phase de compression à raccourcissement Est-Ouest de la phase paroxysmale de l'orogénèse alpine s'est traduite par la création de plis d'axe Nord-Sud et le rejeu des grands accidents cévenols en décrochements dextres.

### 2.2.5. Les accidents tectoniques

De cette histoire tectonique résultent surtout des accidents cassants (failles, décrochements), les plis (synclinaux, anticlinaux) étant plus rares. Deux grandes familles de failles coexistent :

- Les failles de direction cévenole (NNE-SSW) à pendage pseudo-vertical en surface et diminuant en profondeur ;
- Les failles Est-Ouest qui ont joué postérieurement en faille inverse dans le Sud pendant la phase pyrénéenne.

Ces phases tectoniques vont avoir un impact sur la karstification ; Guérin montre en effet, l'importance de la karstification sur les dernières fractures qui rejouent en extension ou en décrochement. Pour Marchand, la direction Nord-Sud draine souvent l'axe collecteur du massif, tandis que la direction

Nord/Ouest-Sud/Est intervient de manière décisive dans l'atomisation des bassins versants et la place des émergences.

Enfin, les plis résultent essentiellement de la compression pyrénéenne et présentent donc un axe Est-Ouest. Ce sont du Nord au Sud :

- Le synclinal de Saint-André-de-Cruzières (pli à grand rayon de courbure) ;
- L'anticlinal de Saint-Paul-le-Jeune qui se complique en profondeur et en direction du Nord du fait de l'existence d'un niveau de décollement et localement par l'existence de failles normales antérieures à la poussée pyrénéenne.
- Le synclinal de Berrias.

### **2.3. Principaux épisodes de karstification**

Il est possible d'identifier 5 phases de karstification à dater de l'émergence fini-crétacée (*Bosredon – 1985*) :

- La phase fini-crétacée est caractérisée par une karstification presque invisible actuellement, présente uniquement que par quelques poches karstiques dans l'Urgonien à remplissage d'argiles du Crétacé supérieur et de l'Eocène inférieur ; elle ne présente qu'un intérêt très limité dans le fonctionnement des ressources karstiques.
- La phase éocène ne se manifeste que par quelques dépôts karstiques également sans intérêt hydrogéologique significatif ;
- La phase oligocène, par le jeu et le rejeu d'accidents en failles normales contribuera à l'évolution karstique en profondeur ;
- La phase miocène donne naissance aux grands réseaux karstiques et aux gorges de l'Ardèche ; leur enfoncement aurait débuté au Miocène inférieur et aurait été exacerbé par la régression pontienne (niveau de base inférieur de 150 à 200m) qui a également accéléré l'évolution du karst en profondeur ; de nombreux réseaux karstiques se déconnectent alors du niveau de base et se fossilisent à cette époque ;
- La phase plio-quadernaire voit remonter le niveau marin jusqu'à environ 100m au-dessus du niveau actuel, ce qui permet la réactivation de certains réseaux karstiques ; ce phénomène va se poursuivre au cours du Quadernaire où les importantes variations bioclimatiques (glaciations) induisent des variations fréquentes du niveau de la mer et entraînent une reprise d'activité de la karstification.

La conséquence de cette genèse est la coexistence de deux types de karsts distincts :

- Un karst essentiellement d'âge tertiaire fossile et très évolué ;
- Un karst récent évolué, actuellement très actif et réutilisant largement les conduits karstiques les plus anciens.

Il existe également une remarquable opposition entre le karst du Kimméridgien inférieur et celui du Tithonique d'après Thierry MARCHAND, la karstification superficielle étant peu développée sur le premier en raison du caractère marneux de la roche alors que les formes superficielles (lapiaz) sont nettement marquées sur le second et parfois ruiniformes, notamment lorsqu'il existe des phénomènes de dolomitisation (Gras de Saint-Germain, Bois de Païolive).

Il est également de signaler que les formations carbonatées karstifiées sont séparées par des zones imperméables constituées le plus souvent de marnes, d'argiles ou de calcaires argileux. Ces terrains imperméables sont présents dans tout le Jurassique jusqu'au mur de l'Oxfordien supérieur et le principal d'entre eux, strictement imperméable, correspond aux Terres Noires du Callovien présentes au mur des calcaires fortement karstifiés du Jurassique supérieur où se développe justement l'ensemble karstique de la bordure sous-cévenole.

Le principal réseau karstique connu dans la partie amont est la Combe Rajeau, galerie qui part des Coirons et aboutit aux sources de Vogüé, exutoires les plus importants de cet ensemble karstique ; il est même possible que ces galeries traversent l'Ardèche et se prolongent au-delà vers le Sud ; il s'agirait alors d'un réseau antérieur à la mise en place des cours d'eau actuels et recoupé par l'enfoncement messinien de l'Ardèche.

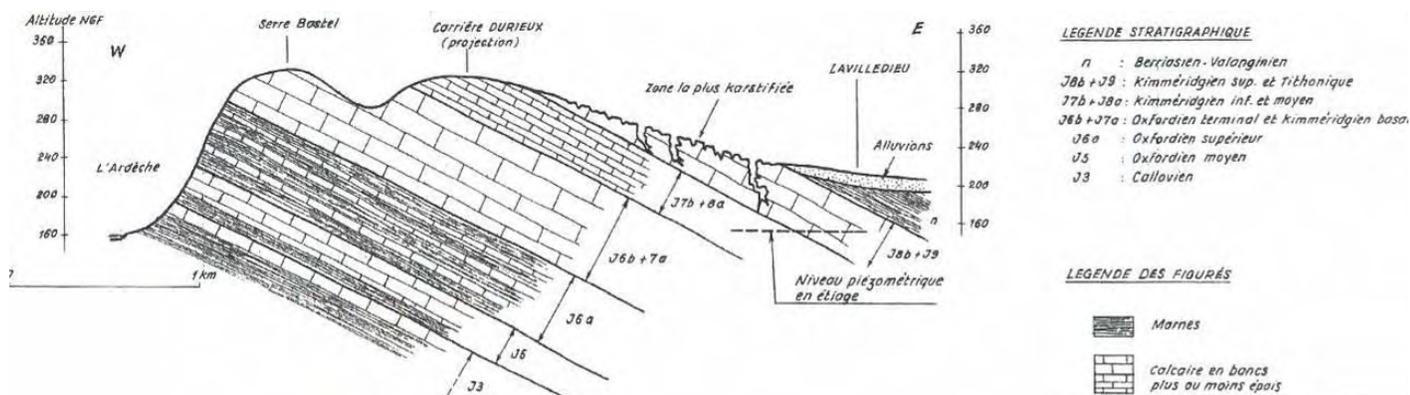
## 2.4. L'unité Nord Vogüé

### 2.4.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité hydrogéologique karstique Nord Vogüé est composée des calcaires et calcaires marneux du Jurassique supérieur (Malm). Cette unité localement monoclinale présente des couches sédimentaires plongeant d'environ 10° vers l'Est-Sud/Est. Les affleurements jurassiques visibles en rive gauche de l'Ardèche traduisent une morphologie dite en « Cuesta » (Figure 31).

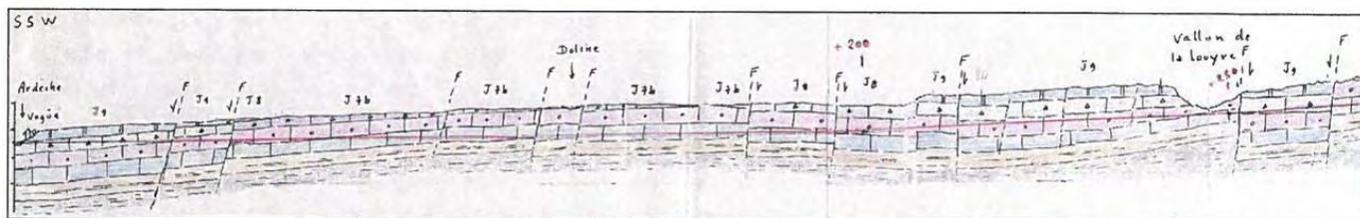
La partie majoritairement aquifère du système Nord Vogüé est représentée par les formations calcaires situées entre le toit des calcaires de l'Oxfordien supérieur (Terres Noires) et les calcaires du Tithonique à l'affleurement ou sous couverture néocomienne à l'Est et basaltique au Nord, soit une épaisseur potentiellement aquifère d'environ 200m. L'aquifère repose néanmoins *sensu stricto* sur les marnes imperméables du Callovien ce qui amène à une épaisseur totale de l'ordre de 300m.

## Etude d'identification et préservation des ressources souterraines stratégiques pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche - Phase 1



**Figure 31 : coupe géologique GA' passant par l'unité karstique Nord Vogüé au niveau de Lavedieu (BRGM - 1992)**

En l'absence de forages profonds, il est impossible d'évaluer précisément l'épaisseur des différents étages de la série calcaire. Une coupe NNE/SSW d'origine inconnue mais reprise dans la monographie de GINGER[6](Figure 32) indiquerait de possibles variations du mur de l'aquifère qui pourraient donner naissance à une compartimentation Nord-Sud du système karstique.



**Figure 32 : coupe géologique GB' du plateau de Lavedieu entre la vallée de la Louyre et Vogüé (Source inconnue – reprise par GINGER - 2006)**

Cette unité karstique est délimitée (Figure 33) :

- Au Nord-Est par les reliefs volcaniques du Coiron ;
- A l'Ouest et au Sud-Ouest par le niveau de base de l'Ardèche ;
- Au Nord et au Nord-Ouest, par les affleurements des marnes du Callovien qui constituent le mur *sensu stricto* de l'aquifère karstique ;
- A l'Est par les affleurements des marnes du Valanginien ;
- Au Sud par la confluence Ardèche-Auzon.

Cet ensemble peut être subdivisé en deux zones distinctes :

- Au Nord d'une ligne Aubenas-Lussas-Mirabel, il montre une succession de reliefs orientés Nord/Est-Sud/Ouest entrecoupés de vallées encaissées de 100 à 200m (Louyre, Eyrolle, Font-Merle) où dominent les garrigues ; c'est une zone fortement pentue avec un drainage superficiel développé ;
- Au Sud de ligne Aubenas-Lussas-Mirabel, il montre un plateau parsemé de vallées sèches, recouvert de bois, de garrigues et de cultures culminant à 332m au Gras ; c'est une zone plane avec un drainage essentiellement souterrain.

La délimitation Nord-Est du système reste incertaine du fait d'une méconnaissance des directions d'écoulements au sein des calcaires jurassiques sous la couverture basaltique et des débits de fuite qui peuvent exister vers l'unité Nord Vogüé.

Dans l'hypothèse d'une zone noyée qui se poursuivrait au sud de Vogüé, la limite pourrait également être repoussée plus au Sud.

La fiabilité des contours du reste de la délimitation est considérée comme bonne.

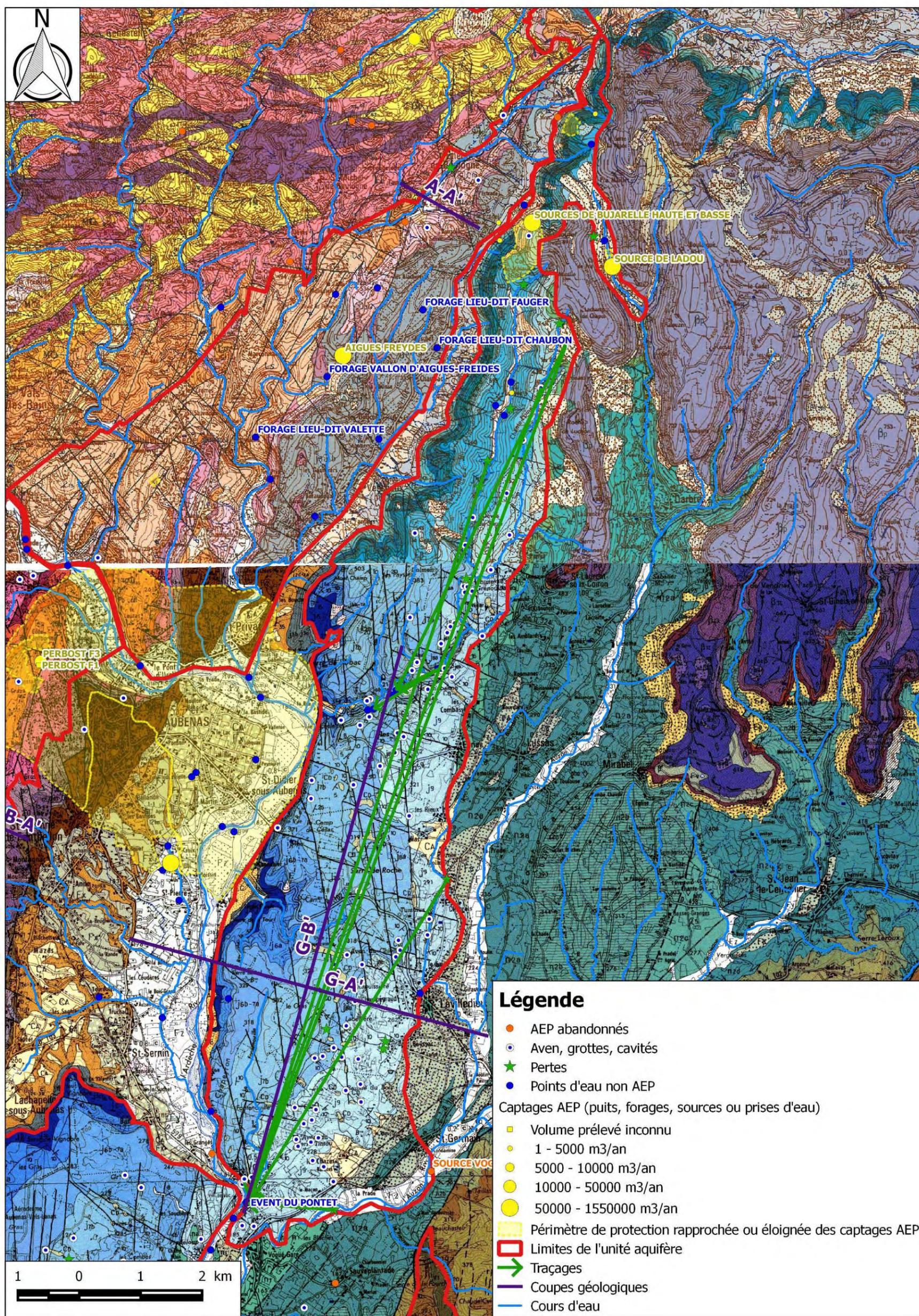


Figure 33 : limites de l'unité karstique Nord Vogüé sur fond géologique

## 2.4.2. Hydrogéologie

La karstification au sein de l'unité Nord Vogüé est surtout bien développée, d'une part, dans le Tithonique et le Kimméridgien supérieur, et d'autre part, dans l'Oxfordien terminal et le Kimméridgien basal, offrant ainsi de nombreux écoulements souterrains mis en évidence par plusieurs traçages. La partie intermédiaire située dans le Kimméridgien moyen et inférieur agirait comme une zone de transition.

Géographiquement, cette unité karstique peut être scindée en deux parties :

- Au Nord d'une ligne Aubenas-Lussas, le domaine de deux vallées karstiques quasi-parallèles dont les cours ne sont pas pérennes, la Louyre et l'Eyrolle, sièges de pertes vers le réseau karstique souterrain ; Cette zone amont joue un rôle essentiel de collecte des eaux météoriques et sous-basaltiques.
- Au Sud de cette ligne, un vaste plateau, celui des Gras, dont à la surface, s'ouvrent de nombreux avens profonds d'une soixantaine de mètres (jusqu'à 260 m NGF) mais sans accès direct à l'écoulement karstique souterrain. L'hypothèse générale est celle de l'existence d'un ou plusieurs réseau(x) karstique(s), de grandes dimensions, jouant le rôle de collecteur(s) et véhiculant les eaux souterraines jusqu'à l'Ardèche (niveau de base situé entre 150 et 200m NGF). Bayle pense également qu'au-delà de la Baume de Chabanne, le karst profond est probablement, et d'une manière générale, noyée jusqu'à Vogüé. Il pourrait également s'étendre plus au sud de Vogüé.

### La vallée de la Louyre :

La vallée de la Louyre est la vallée située la plus à l'Ouest, elle commence au col de Valaurie (653 m d'altitude) et s'étend sur environ 5,7 km jusqu'à sa confluence avec la vallée de l'Eyrolle (339 m d'altitude). D'un point de vue hydrologique, la vallée de la Louyre peut être subdivisée en trois parties :

- Une zone amont située entre le col de Valaurie et le hameau de Louyre qui correspond à une zone de drainage de sources. C'est dans cette zone que résurgent les sources de la Louyre au contact des marnes du Callovien étanches. La zone d'alimentation englobe les basaltes au Nord.
- Une zone intermédiaire située en aval du hameau de Louyre et jusque dans le secteur de la grotte du Câble. Il s'agit d'une zone de pertes (Glou-glou, Calistou) où le ruisseau de la Louyre est majoritairement souterrain en dehors des périodes de crues.
- Une zone avale située entre le secteur de la grotte du Câble et la confluence de la Louyre avec l'Ardèche caractérisée par la présence de quelques résurgences quasi-permanentes (Event des Poubelles) et des trop-pleins temporaires (Baume de Chabanne). Les émergences temporaires

sont conditionnées par l'intensité des crues et la qualité de connexion avec le réseau souterrain.

L'ensemble des eaux drainées puis infiltrées dans la partie amont de la vallée de la Louyre emprunterait un « drain karstique » qui passerait au droit de la grotte du Câble. L'abîme Valérie est le seul accès profond mais partiel vers ce système souterrain.

#### La vallée de l'Eyrolle :

La vallée de l'Eyrolle est plus haute en altitude, elle débute au droit de l'aven des Blaches vers 700 m d'altitude et rejoint la Louyre à l'Ouest de Saint-Laurent-sous-Coiron.

Le collecteur souterrain de cette zone est reconnu depuis l'aven des Blaches et la Combe Rajeau qui drainent les pertes de l'Eyrolle en surface. Il est cependant possible que ce collecteur démarre plus au Nord sous les basaltes.

L'eau souterraine emprunte donc un parcours d'au moins 16 km au travers de ce système karstique vaclusien jusqu'au seul exutoire identifié, à ce jour, à Vogüé : les sources du Pontet (4 sorties dont les événements n°1 et N°3 majoritaires+ sortie sous-alluviale en contre bas du pont), et de manière plus modeste, les sources des Estugnes, dont il est démontré qu'elles fonctionnent comme un trop-plein des premières.

#### *2.4.2.1. Recharge naturelle, aire d'alimentation et exutoires*

L'alimentation de cette unité karstique se fait :

- Par infiltration directe des précipitations sur les affleurements du Kimméridgien supérieur – Tithonique ;
- Par infiltration directe des précipitations sur les affleurements de l'Oxfordien terminal au Kimméridgien moyen de la partie Ouest du plateau ;
- Lors des périodes de fort ruissellement, d'une part, par perte dans les avens situés au Nord de la vallée du ruisseau de Louyre, et d'autre part, par perte partielle du ruisseau de l'Eyrolle dans l'aven des Blaches ; ce ruisseau est issu du plateau basaltique proximal du Coiron (secteur La Girolle, Combe Male) qui repose sur ce secteur *ad minima* sur les calcaires argileux berriasiens, voire sur les marnes valanginiennes ;
- Par infiltration indirecte des précipitations sur une partie des affleurements basaltiques plus distaux, situés entre le col de l'Escrinet au Nord et une ligne Col de Valaurie – Boulaigue – Prévieux : en effet, sur cette extrémité septentrionale du massif du Coiron, barrée au sud par les marnes valanginiennes, une partie des eaux précipitées sur la carapace basaltique s'infiltrer et rejoint plus ou moins rapidement les calcaires jurassiques karstifiés sous-jacents. Ces eaux infiltrées donnent naissance :

- à des sources infra-basaltiques, vers l'Ouest, dans la vallée de l'Ouvèze dont les plus connues sont les sources de Verdus pour l'alimentation en eau potable de Privas ;
- A au moins une émergence, la source de Ladou, au Sud, localisée au contact entre les calcaires jurassiques et les marnes valanginiennes ; cette source est utilisée pour l'alimentation en eau potable par le syndicat Olivier de Serre ;
- Des fuites probables du système karstique jurassique situé sous la carapace volcanique, en direction de l'Ouest et qui sont susceptibles d'alimenter l'unité karstique Nord Vogüé.

En effet, nous faisons l'hypothèse d'une ligne de partage des eaux de direction globalement Nord-Sud du système karstique jurassique situé sous la carapace basaltique dans cette zone la plus septentrionale du massif coironique. Cette limite, dont le tracé est aujourd'hui inconnu, mais probablement variable en fonction des conditions hydrologiques, délimiterait :

- vers l'Est, les écoulements en direction de la vallée de l'Ouvèze,
  - vers l'Ouest, les écoulements en direction de l'unité Nord Vogüé.
- Enfin, à l'extrême aval du système, l'unité Nord Vogüé reçoit une partie des pertes de l'Auzon, et celles du Bourdary, ce qui représente un apport d'eau issu du ruissellement sur les marnes du Berriasien-Valanginien. Cet apport d'eau est conséquent car les bassins versants concernés sont importants, et il est extérieur au système karstique, ce qui confère le type binaire à l'unité karstique Nord-Vogüé.

Ce karst binaire est drainé par des sorties temporaires dans la vallée de la Louyre, à l'occasion des épisodes pluvieux d'une certaine importance ; cette part d'alimentation est alors perdue pour le système karstique et les grosses sorties pérennes représentées par les sources du Pontet, localisées dans la vallée de l'Ardèche au niveau de la cluse de Vogüé.

Ces sources se présentent sous la forme de 2 groupes :

- Les Estugnes (Nord et Sud) situées dans le village : il s'agit de sources qui débordent lors des crues et semblent correspondre à un nouveau trop-plein du système karstique dans la zone avale. Elles sont plus ou moins canalisées à l'intérieur du village et sortent sous les remparts bordant l'Ardèche. Les deux vasques correspondantes seraient en équilibre avec les eaux de l'Ardèche car d'après Gombert, elles répondraient rapidement aux variations de niveau de l'Ardèche lors des lâchers d'eau.
- Les sources du Pontet situées au Sud du village (Figure 34) : elles s'échelonnent le long de la falaise en 4 sorties distinctes en période de crue, mais une seule est encore active à l'étiage. Une troisième sortie sous-alluviale temporaire est identifiée en période de crue à une centaine de mètres après le pont SNCF.



***Figure 34 : localisation des émergences du Pontet***

Les réseaux karstiques sont nombreux sur le plateau des Gras et au droit de l'unité karstique Nord Vogüé en général. Les principaux ont été recensés par le comité départemental de spéléologie de l'Ardèche (Tableau 4 et Figure 35), les coupes de ces réseaux sont disponibles en annexe du rapport.

Etude d'identification et préservation des ressources souterraines majeures pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche – Phase 1.

<b>PHENOMENES KARSTIQUES</b>		<b>DONNEES HYDROLOGIQUES</b>			<b>DONNEES TOPOGRAPHIQUES</b>	
<b>Nom</b>	<b>Commune</b>	<b>Siphon</b>	<b>Écoulement</b>	<b>Fonctionnement</b>	<b>développement (m)</b>	<b>dénivelé (m)</b>
Auzon	Saint-Germain	NON	permanent	perte		
Blaches	Saint-Laurent-Sous-Coiron		permanent	perte	2100	-110
Bourday	Lavilledieu	NON	?	perte	0	
Bujarelle	Saint-Etienne-de-Boulogne	NON	?	source	impénétrable	
Grotte du Câble	Lussas	OUI	permanent	source	2100	-43 / +40
Calistou	Saint-Laurent-Sous-Coiron			perte	8	
Baume de Chabanne	Lussas	OUI	temporaire	source	1010	-25 / +35
Chapuy	Lavilledieu		?	perte	100	-32
chasseur	Saint-Germain	OUI	temporaire	perte	850	-40
Echelette	Saint-Privat	OUI	temporaire	source	80	-10
effondrement	Lavilledieu	NON	temporaire	perte	50	-10
Estugne nord	Voguë	OUI	permanent	source	135	-10
Estugne sud	Voguë	OUI	temporaire	source	150	-6
Fontenouille	Voguë		temporaire	source	impénétrable	
Grand Pré	Saint-Laurent-Sous-Coiron		temporaire	perte	2100	-181
Grenouilles	Lussas	OUI	temporaire	source	150	10
Grenouillettes	Saint-Laurent-Sous-Coiron		temporaire	perte	40	-36
Juste Prix	Saint-Laurent-Sous-Coiron		temporaire	perte	35	-10
Vieux Lavois	Saint-Laurent-Sous-Coiron		permanent	source	impénétrable	
Lavilledieu 1	Lavilledieu		?	source	8	-8
Lavilledieu 2	Lavilledieu		?	perte		
Louyre	Saint-Laurent-Sous-Coiron		permanent	source	impénétrable	
Louyre bis	Saint-Laurent-Sous-Coiron		permanent	source	4	
Moulin d'Artige	Saint-Etienne-de-Boulogne		permanent	source	impénétrable	
Pontet	Vogüé	OUI	temporaire	source	280	
Pontet pérenne (x3)	Vogüé	OUI	permanent	source	impénétrable	
pontet sous alluviale	Vogüé		temporaire	source	impénétrable	
Event des Poubelles	Lussas	OUI	permanent	source	100	
Pra Maillet (deux fiches)	Saint-Etienne-de-Boulogne		permanent	source	impénétrable	
Pra Maillet (deux fiches)	Saint-Etienne-de-Boulogne		?	perte		
Combe Rajeau	Saint-Laurent-Sous-Coiron		permanent	perte	11000	-250
Serre de la Prade	Saint-Etienne-de-Boulogne	OUI	permanent	source	90	
Seteras	Vogüé		temporaire	source	impénétrable	
Abyme Valérie	Saint-Laurent-Sous-Coiron	OUI	permanent	perte	1200	-60
Vidalet	Saint-Laurent-Sous-Coiron		permanent	perte	impénétrable	
village	Saint-Laurent-Sous-Coiron		permanent	source	impénétrable	
Perte du Gougou	Saint-Laurent-Sous-Coiron		permanent	perte	qqes mètres	?

**Tableau 4 : principaux réseaux karstiques de l'unité Nord Vogüé (CDS - 2015)**

Le réseau de la Combe Rajeau est exceptionnel par son développement, sa profondeur et la morphologie de son drain. L'extrémité avale actuellement connue de ce réseau karstique atteindrait presque le mur de marnes imperméables de l'aquifère karstique (Audra – 2011).

**COIRON SOUTERRAIN**

**Spéléo Club Aubenas  
1965 - 2010**

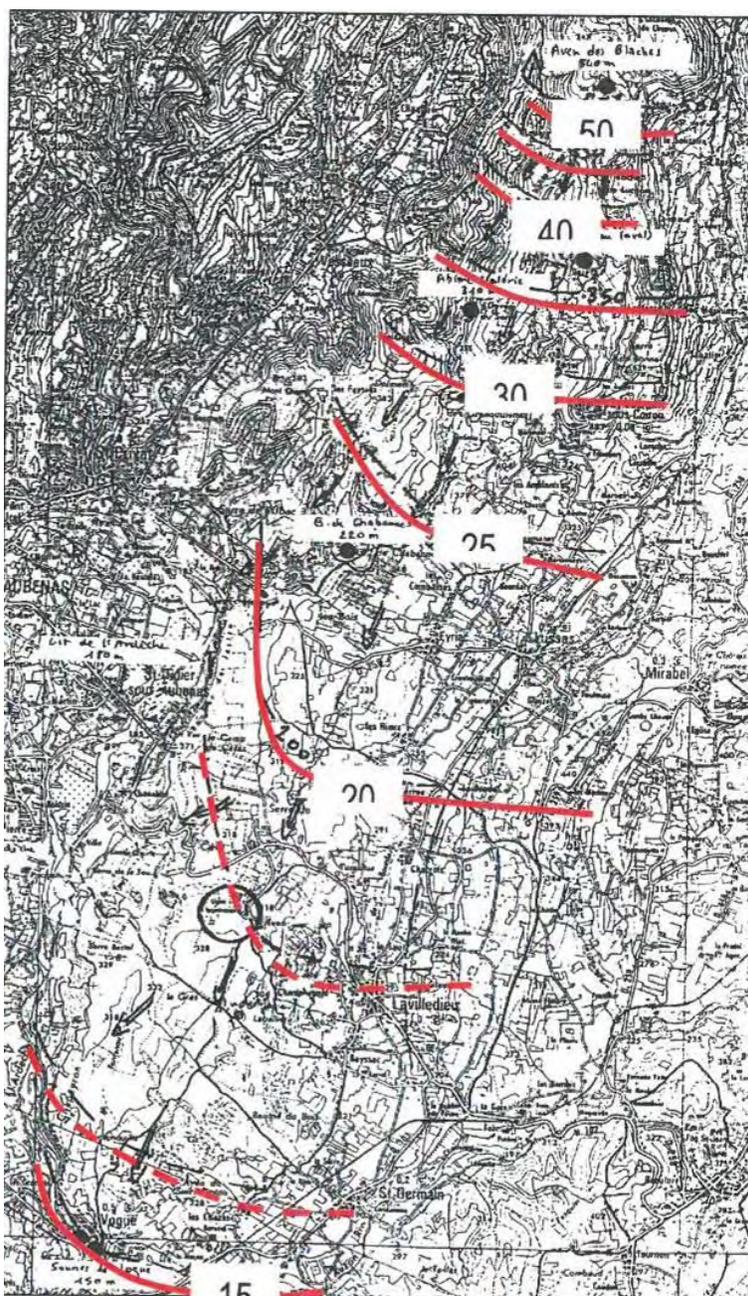
 **réseau spéléologique**



**Figure 35 : report des principaux réseaux spéléologiques de l'unité Nord Voqué (CDS - 2015)**

#### 2.4.2.2. Piézométrie, gradient, direction d'écoulement

Gombert a tracé une esquisse de carte piézométrique (Figure 36) basée sur l'altitude du plan d'eau observé dans chaque réseau, et en tenant compte d'un niveau de base karstique local représenté par l'Ardèche qui coule entre 180 et 150 m NGF. On y retrouve bien la dualité entre les zones amont et aval où les gradients hydrauliques valent respectivement 8% et 0,8%.



***Figure 36 : esquisse piézométrique en amont des sources de Voqué (GOMBERT - 1991)***

Le BRGM précise que le niveau piézométrique, en période de crue, doit alors s'établir sous la ZAC de Lavilledieu à environ 200-220 m NGF, soit 60 à 80m de profondeur, alors qu'il doit atteindre 100 à 130m de profondeur en période d'étiage.

#### 2.4.2.3. Paramètres hydrodynamiques et vitesses de transfert

L'unité karstique Nord Vogüé est très peu exploitée et il n'existe aucun forage et résultat d'essai de pompage qui puisse permettre de préciser les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.

En revanche, plusieurs expériences de traçages ont été mises en œuvre entre 1967 et 2003 (Tableau 5) :

- A l'hiver 1967, le Spéléo-Club d'Aubenas injecte 500g de fluorescéine aux pertes de l'Auzon ; le fluo-captateur placé à l'évent amont des sources du Pontet est fortement positif tandis que celui placé à l'aval est faiblement positif. La vitesse de transfert n'est pas calculable par manque de précision sur le temps de réapparition du traceur. Ce premier traçage fournit donc déjà une première limite du bassin d'alimentation des sources de Vogüé à l'aval du système.
- Le 12/01/1969, le Spéléo-Club d'Aubenas injecte 5kg de fluorescéine à l'aven des Blaches au droit du ruisseau souterrain jaugé à 80 l/sec ; le traceur ressort à la Baume de Chabanne, distante de 6,2 km, avec une vitesse calculée de 100m/h (62 heures). Les vitesses obtenues sont rapides et témoignent déjà de l'existence d'un drain collecteur principal.
- En 1982 (période hydrologique non précisée), 1 kg de fluorescéine sont à nouveau injectés à l'aven des Blaches. Des fluo-captateurs sont installés dans la vallée de la Louyre ; ils sont positifs à la Baume de Chabanne après passage à la Combe Rajeau, et aux Estugnes de Vogüé (48 heures en crue et 1 semaine en étiage ??) soit une vitesse déduite comprise entre 90 m/h à l'étiage et 310 m/h en crue ; le résultat est en revanche négatif à la source de la Louyre ce qui tend à démontrer l'indépendance du système "drain Louyre" vis-à-vis du "drain Eyrolle", en tous les cas dans sa partie la plus amont. Le passage du traceur à l'abîme Valérie évoqué par Courbis semble être remis en cause par le CDS07 pour trois raisons : aucune référence bibliographique ne mentionne ce traçage positif dans les documents du CDS, l'actif n'était pas connu à cette date et la position des drains par rapport aux pendages n'est pas concordante.
- La même année et à l'occasion de deux injections de fluorescéine espacées de 6 mois (2 puis 4kg de fluorescéine), le résultat est positif à la Baume de Chabanne ainsi qu'aux sources du Pontet. Le résultat est en revanche négatif au droit des sources de la plaine d'Aubenas, ainsi qu'aux résurgences de l'Echelette (basse vallée de la Louyre) et des Estugnes de Vogüé. Ces résultats permettent d'avancer l'hypothèse de l'indépendance des Estugnes (résurgences temporaires en hautes eaux ?) et du Pontet (résurgence pérenne).
- Le 29/09/1997, EKS injecte 10kg d'iodure de potassium à la perte du ruisseau du Bourdary ; le traceur est détecté après des précipitations (35mm) qui engendrent une crue de l'Ardèche avec

une courbe de restitution multimodale (piège d'une partie du traceur ou cheminement secondaire) ; la vitesse moyenne de transfert est estimée à 30 m/h.

- Enfin au cours de l'étiage exceptionnel de 2003, un multi-traçage réalisé par le CERGA[8](injection de 13kg de fluorescéine à la Combe Rajeau (partie avale) et injection de 3kg de sulforhodamine dans le siphon aval de la grotte du câble) amène les résultats suivants :
  - Fluo-capteur négatif à la grotte du câble (siphon amont) et à la source face Chabanne qui tendrait à confirmer l'indépendance de ces points de suivi avec le "drain Eyrolle" ; le CDS précise néanmoins que la grotte du câble a peut-être été refermée trop tôt, avant le passage du traceur ;
  - Fluo-capteur positif à la sulforhodamine et négatif à la fluorescéine à la source des Poubelles (vallée de la Louyre) ce qui tendrait à confirmer l'interconnexion Grotte du câble – Vallée de la Louyre mais l'indépendance "drain Louyre" et "drain Eyrolle" ;
  - Fluo-capteurs positifs mais faibles en sulforhodamine et fluorescéine aux Estugnes Nord, traces de fluorescéine aux Estugnes Sud ; ces deux sources ne seraient donc pas situées sur la direction principale d'écoulement ;
  - Enfin, le fluorimètre installé aux sources du Pontet détecte les deux traceurs sulforhodamine et fluorescéine respectivement après 23 et 26 jours, soit une vitesse de transfert apparente de 13 m/h. Les traceurs sont en réalité ressortis après les premières pluies ce qui pourrait augmenter la vitesse de transfert jusqu'à 120 m/h. Enfin, l'allure des courbes de restitution pose questions : celle de la courbe de la sulforhodamine tend à montrer un passage très rapide du traceur (montée en 2 jours jusqu'au pic puis redescende tout aussi rapide avec plus rien après 4 jours) alors que pour la fluorescéine, il est observé une montée rapide en deux jours pour atteindre le pic puis une trace résiduelle qui reste importante après 6 jours (50% du pic), le suivi ayant été stoppé avant le passage complet du traceur.

Les traçages réalisés jusqu'à ce jour n'apportent aucune information sur la contribution des pertes de la Louyre au système.

A l'étiage 2003, le débit des sources de Vogüé dans leur ensemble est évalué par Gombertaux environ de 125 l/s +/- 15 l/s par la méthode des jaugeages chimiques des traceurs naturels. Cette mesure semble être cohérente avec la valeur de 156 l/s fournie par le débit spécifique en période d'étiage quinquennal calculé à partir du QMNA5 de l'Ardèche (donnée DIREN) et des bassins versants de l'Ardèche et des sources de Vogüé (60 km<sup>2</sup>).

Points d'eau	déc-67	janv-69	1982	1982	sept-97	août-03	août-03
Pertes de l'Auzon	500gr						
Pertes du Bourdary					10kgs		
Aven des Blaches		5kgs	1kg				
Source de la Louyre							
La Combe Rajeau				2 et 4kgs		13 kgs	
La Grotte du Câble							3 kgs
Baume de Chabanne		100m/h					
Source face Chabanne							
Source des Poubelles							
Echelette							
Les Estugnes Nord			90-310 m/h			Faible	Faible
Les Estugnes Sud			90-310 m/h			Traces	
Sources du Pontet					30m/h	13-120m/h	
Sources plaine d'Aubenas							

**Tableau 5 : récapitulatif des traçages réalisés entre 1967 et 2003 sur l'unité karstique Nord Vogüé**

### 2.4.3. Appréciation du potentiel quantitatif

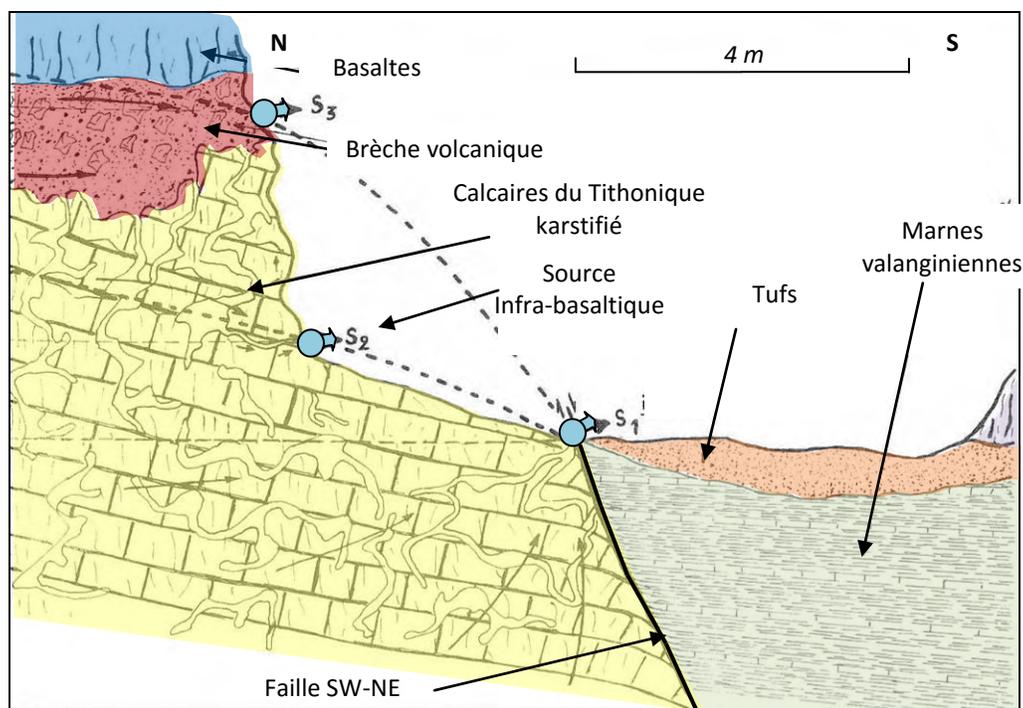
L'unité karstique Nord Vogüé est très peu exploitée pour l'alimentation en eau potable qui représente, à notre connaissance l'unique usage de cette ressource karstique actuellement. Le potentiel est donc d'autant plus difficile à quantifier.

Les trois captages AEP connus sont tous situés à l'extrémité Nord de l'unité, il s'agit :

- De la source de Ladou, située sur la commune de Saint-Laurent-sous-Coiron, à 5 km au Nord-Nord-Est du chef-lieu. Il s'agit en réalité d'une source infra-basaltique composée de deux résurgences karstiques qui se trouvent en fond de vallée au niveau du ruisseau de Pra-Maillet. Elle est séparée des Gras ardéchois à l'Ouest par une langue basaltique (Combe Male). Cette source émerge au droit d'une faille de direction Sud/Ouest-Nord/Est mettant en contact les calcaires du Tithonique avec les marnes valanginiennes, il s'agit donc d'une source de débordement du karst (Figure 37). L'essentiel du débit est délivré par un aven ainsi qu'une zone de calcaires fracturés et lapiazés.

Dans un contexte hydrogéologique similaire, il existe aussi les sources de Fontfreyde et de Bouleigue sur la commune de Darbres justes au Nord-Est de Ladou (hors domaine d'étude). Ces deux sources seraient cependant caractérisées par la présence d'un karst alimenté superficiellement (forte variabilité du débit et vitesse circulation par chenaux d'environ 50m/h). Le karst dans lequel a évolué la source du Ladou et celui dans lequel ont évolué les sources de Fontfreyde et Bouleigue seraient parfaitement indépendant. Selon J-C. Grillot, il pourrait s'agir en fait de deux réseaux ayant évolués parallèlement dans deux vallées voisines. On peut donc faire

l'hypothèse d'une karstification continue sous cette unité basaltique entre la vallée de la Louyre et le ruisseau de Pra Maillet.



**Figure 37 : schéma du fonctionnement de la source de Ladou (IDEES-EAUX – 2015 d'après GRILLOT – 1972)**

Depuis 2003, les débits ponctuels mesurés sur cette source sont compris entre 8,6 m<sup>3</sup>/h (débit d'étiage le 03/09/2014) et 57,6 m<sup>3</sup>/h (hautes eaux le 24/02/2014). Le captage est délimité par 3 périmètres de protection dont un PPE de surface très réduite qui ne peut en aucun cas correspondre au bassin d'alimentation du captage. Une évaluation récente de celui-ci dans le cadre d'une étude sur les Coirons donnerait un bassin d'alimentation compris entre moyennes et basses eaux entre 0,21 et 1,8 km<sup>2</sup>, soit une enveloppe élargie de l'ordre de 2 km<sup>2</sup> sur la base des connaissances actuelles, alors que la surface du périmètre de protection éloignée est seulement de l'ordre de 6 hectares.

- De la source de la Louyre, située sur la commune de Saint-Laurent-sous-Coiron également et qui alimente le hameau de Louyre (7 habitations). Cette source est localisée dans les calcaires grumeleux du Kimméridgien moyen et inférieur, à l'Ouest des affleurements du Tithonique, c'est ce qui explique son débit bien plus faible (débit d'étiage : 100 l/heure).
- Des sources de Bujarelles (haute et basse) situées sur la commune de Saint-Etienne-de-Boulogne mais utilisées pour l'alimentation en eau potable de Vesseaux. Ces sources sont localisées, d'une part dans le Callovien (Bujarelles basse) et d'autre part dans les calcaires du Kimméridgien

inférieur/Oxfordien supérieur (Bujarellles haute). Le débit d'étiage de l'ensemble des sources de Bujarellles serait de l'ordre de 5,5 m<sup>3</sup>/h.

Au-delà de ces trois ressources localisées en amont de l'unité karstique et finalement représentative d'une zone qui ne reflète pas totalement les capacités réelles de cet aquifère karstique, les sources du Pontet forment l'exutoire principal connu de l'unité Nord Vogüé.

L'importance de l'impluvium karstique (45 à 60 km<sup>2</sup>) alliée aux fortes précipitations induites par le relief des Coirons (> 1000 mm) et à une infiltration des pertes de l'Auzon (vaste bassin versant) et dans une moindre mesure celles du Bourdary, laisse supposer un potentiel important chiffré à 19 millions de m<sup>3</sup> par an, soit un débit de fuite de l'ordre de 500 l/sec en moyenne annuelle [9].

Le débit des sources de Vogüé lors de l'étiage sévère de 2003 a été évalué, par jaugeage sur l'Ardèche à 120 l/sec [8].

Les réserves profondes de ce karst sont peu connues mais sont évaluées à quelques dizaines de millions de m<sup>3</sup>.

#### 2.4.4. Echanges nappe/rivière

Dans la zone amont de l'unité karstique Nord Vogüé, les cours d'eau tels que la Louyre et l'Eyrolle n'ont pas de lien direct avec la zone noyée mais contribuent, par leurs pertes, à l'alimentation indirecte de celle-ci dans la zone amont de l'unité.

La Louyre joue néanmoins momentanément le rôle de niveau de base pour les écoulements localisés dans les calcaires de transition du Kimméridgien moyen et inférieur. En effet, du fait des pertes jalonnant son cours vers l'aval, ce ruisseau n'est pérenne que sur 1 à 2 km en aval du hameau de Louyre en période d'étiage.

A l'Ouest, les faciès marneux de la base du Jurassique s'opposent à toute perte de l'Ardèche vers l'unité karstique Nord Vogüé. En revanche, l'Ardèche et la Louyre dans sa partie aval, drainent les écoulements en période de crue.

A l'Ouest et au Sud, les entrées d'eau karstiques dans l'Ardèche sont manifestes dès sa sortie des terrains cristallins et gréseux avec une augmentation notable de part et d'autre du site de Vogüé.

A l'Est, les eaux superficielles drainées par l'Auzon et le Bourdary participent à la recharge de l'unité karstique.

#### 2.4.5. Qualité des eaux

Gombert a utilisé les résultats d'une cinquantaine d'analyses d'eau publié en 1975. Il indique que :

- Le faciès des eaux de la source de Louyre est intermédiaire entre celui des eaux externes (pluie et basaltes) et les eaux karstiques ; ce faciès traduit un début de minéralisation carbonatée des eaux qui pénètrent dans le karst par la voie météorique ou sous-basaltique.
- Les eaux de la grotte de Chabanne présentent un faciès nettement bicarbonaté calcique qui correspond bien à l'origine purement karstique (pas de mélange) ;
- Les eaux de Vogüé ont une position complexe qui traduit un enrichissement en sulfates, chlorures et dans une moindre mesure en calcium, magnésium et bicarbonates ; il pourrait alors s'agir d'eaux contaminées par une forte proportion d'eau de ruissellement sur terrains marneux. Cette observation corrobore l'existence des relations prouvées par traçages entre les pertes du Bourdary et celles de l'Auzon, cours d'eau qui lessivent les marnes crétacées avant de se perdre partiellement dans le karst jurassique de l'unité Nord Vogüé.

Des mesures de conductivité réalisées en différents points d'eau de l'unité karstique montrent cette évolution : Source de Ladou (140  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en moyenne), source de la Louyre (388  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Sources du Pontet (510  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

#### 2.4.6. Vulnérabilité intrinsèque /Occupation des sols/Pressions/Prélèvements

La zone très karstifiée de la moitié Est du plateau des Gras est le siège de temps de transfert très courts entre la surface et l'exutoire de Vogüé (quelques dizaines d'heures) avec des dilutions faibles, alors que la zone fissurée et moins karstifiée de la moitié Ouest est sensiblement moins pénétrable. La vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique est donc considérée comme élevée.

Concernant l'occupation des sols (Figure 38 et Tableau 6), l'unité karstique Nord Vogüé est majoritairement occupée par les landes, les broussailles et les forêts de feuillus. De manière plus marginale, des forêts de conifères occupent l'extrémité Nord-Ouest, alors que le Sud-Est, dans la basse vallée de l'Auzon, est caractérisé par la présence des vignobles et des vergers.

Etude d'identification et préservation des ressources souterraines majeures pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche – Phase 1.

Type d'occupation des sols	Surface (km <sup>2</sup> )	% surface
112 : Tissu urbain discontinu	0,93	2,04%
121 : Zones industrielles et commerciales	0,58	1,28%
131 : Extraction de matériaux	0,61	1,33%
221 : Vignobles	3,21	7,02%
231 : Prairies	0,44	0,97%
242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes	0,54	1,17%
243 : Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	0,23	0,49%
311 : Forêts de feuillus	9,56	<b>20,89%</b>
312 : Forêts de conifères	2,40	5,24%
313 : Forêts mélangées	0,34	0,75%
321 : Pelouses et pâturages naturels	0,73	1,60%
322 : Landes et broussailles	21,13	<b>46,20%</b>
324 : Forêt et végétation arbustive en mutation	5,04	11,03%
	<b>45,74</b>	<b>100,00%</b>

**Tableau 6 : répartition de l'occupation des sols sur l'unité Nord Vogüé**

Les prélèvements, tout usages confondus, sont peu nombreux sur l'unité karstique. Les captages AEP se concentrent à l'extrémité Nord de l'unité.

Concernant la pression industrielle (Tableau 7), il est dénombré 15 installations classées concentrées sur la zone industrielle de Lavilledieu, installations majoritairement soumises à autorisation. On y compte entre autres, une carrière de granulats, des activités de récupération de déchets triés et urbains et une activité de stockage de produits dangereux.

Etablissement	commune	Activité	classement
FLORENTEISE - TERRE ET NATURE	LAVILLEDIEU	52.10B. Entreposage et stockage non frigorifique	A. Soumis à Autorisation
SALAISONS DE JASTRES	LAVILLEDIEU	B17. Autres industries agro-alimentaires	E. Enregistrement
SPA LES AMANDIERS	LAVILLEDIEU		A. Soumis à Autorisation
ANDRE CHARRE ET FILS SARL	LAVILLEDIEU	16.10A. Sciage & rabotage bois, sf imprégnation	A. Soumis à Autorisation
ARDECHE ENROBES	LAVILLEDIEU	23.99Z. Fab. aut. prod. minéraux non métal. nca.	A. Soumis à Autorisation
ART DES CHOIX EN GRANULATS (ADCEG)	LAVILLEDIEU	08.12Z. Exploit. gravière & sabl., extr. argile	A. Soumis à Autorisation
ART DES CHOIX EN RECYCLAGE SARL (ADCER)	LAVILLEDIEU	38.32Z. Récupération de déchets triés	A. Soumis à Autorisation
FLORENTEISE	LAVILLEDIEU		A. Soumis à Autorisation
PLANCHER	LAVILLEDIEU	38.32Z. Récupération de déchets triés	A. Soumis à Autorisation
PLANCHER ENVIRONNEMENT	LAVILLEDIEU	38.32Z. Récupération de déchets triés	A. Soumis à Autorisation
RECYCLAGE AUTOS PIECES SARL	LAVILLEDIEU	K5. Récupération, depots de ferrailles	E. Enregistrement
SIDOMSA	LAVILLEDIEU	K2. Traitement de déchets urbains	A. Soumis à Autorisation
SMTV	LAVILLEDIEU	08.11Z. Extr. pierre ornement. & construct. etc.	A. Soumis à Autorisation
SOCIETE D'ENROBAGE DE L'UZEGE (S.E.U.)	LAVILLEDIEU	G22. Centrales d'enrobés	A. Soumis à Autorisation
SOGETREL SAS	LAVILLEDIEU	L13. Entrepôts de produits dangereux	A. Soumis à Autorisation

**Tableau 7 : installations classées et sites industriels recensés sur l'unité karstique Nord Vogüé**

Etude d'identification et préservation des ressources souterraines majeures pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche – Phase 1.

---

Le plateau de Lavilledieu surplombe les sources de Vogüé, confère une forte vulnérabilité dans la partie aval de l'aquifère karstique, et oblige à prévoir d'orienter de futurs travaux exploratoires en amont de cette zone d'activité.

Il n'y a ni site pollué, ni site industriel ancien ou actuel recensé sur cette unité.

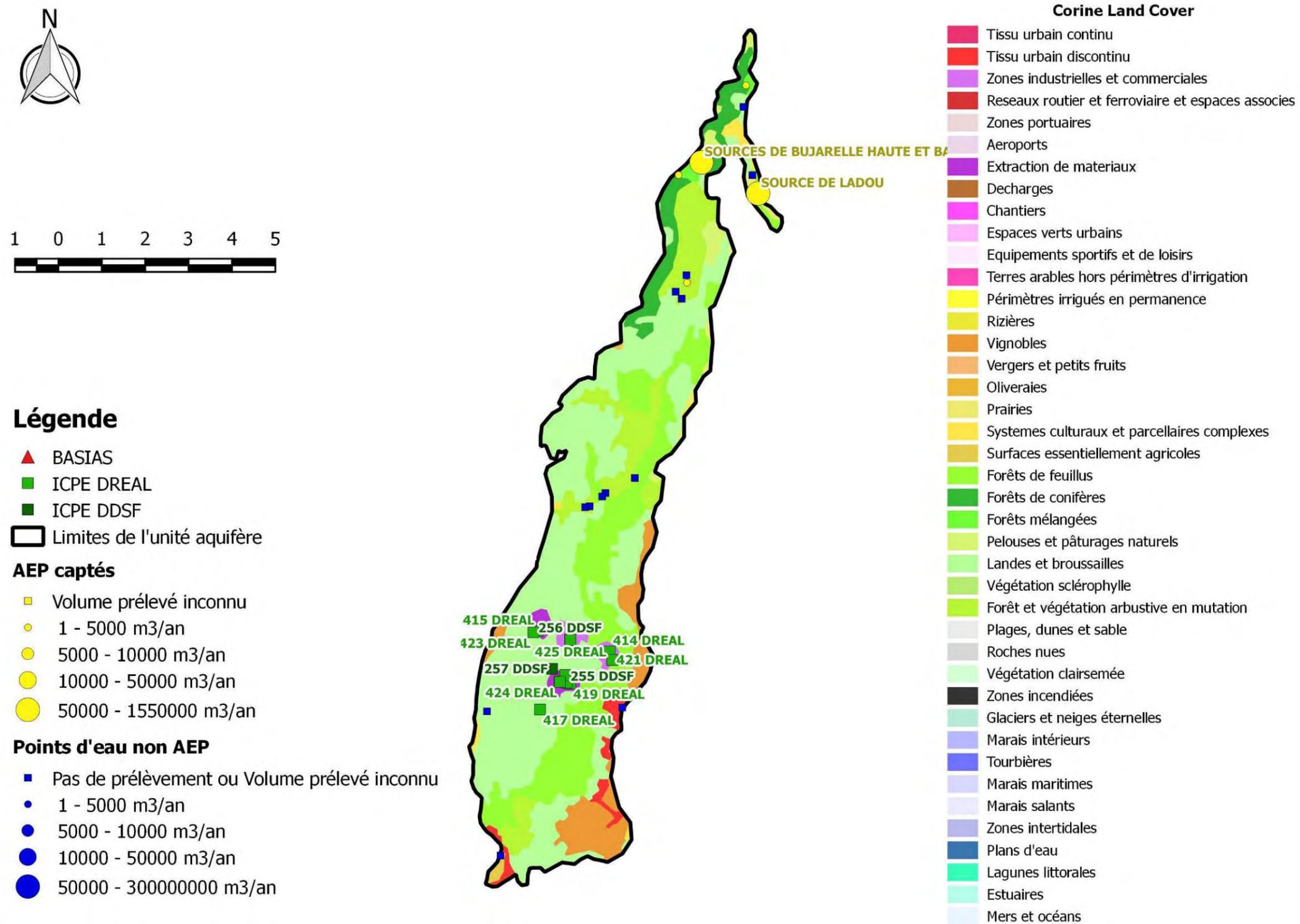


Figure 38 : occupation des sols, prélèvements et pressions industrielles sur l'unité karstique Nord Voqué

## 2.5. L'unité Sud-Vogüé

### 2.5.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité karstique Sud Vogüé est composée des calcaires et calcaires marneux du Jurassique supérieur (Malm) qui présentent le même type de pendage que sur l'unité Nord Vogüé. Elle ne forme pas un réservoir aquifère continu car elle est scindée en deux sous-unités par l'entaille des gorges de la Ligne.

Ses grandes limites sont les suivantes (Figure 39) :

- A l'Est, le niveau de base de l'Ardèche qui, après la cluse de Vogüé, draine un karst qui devient perché après Servièrre, l'Ardèche l'entaillant de plus en plus profondément en direction du Sud ;
- Au Nord et à l'Ouest, les affleurements des marnes du Callovien qui constituent également le mur de l'aquifère karstique ;
- Au Sud la vallée de la Baume.

Les limites sont considérées comme bonnes.

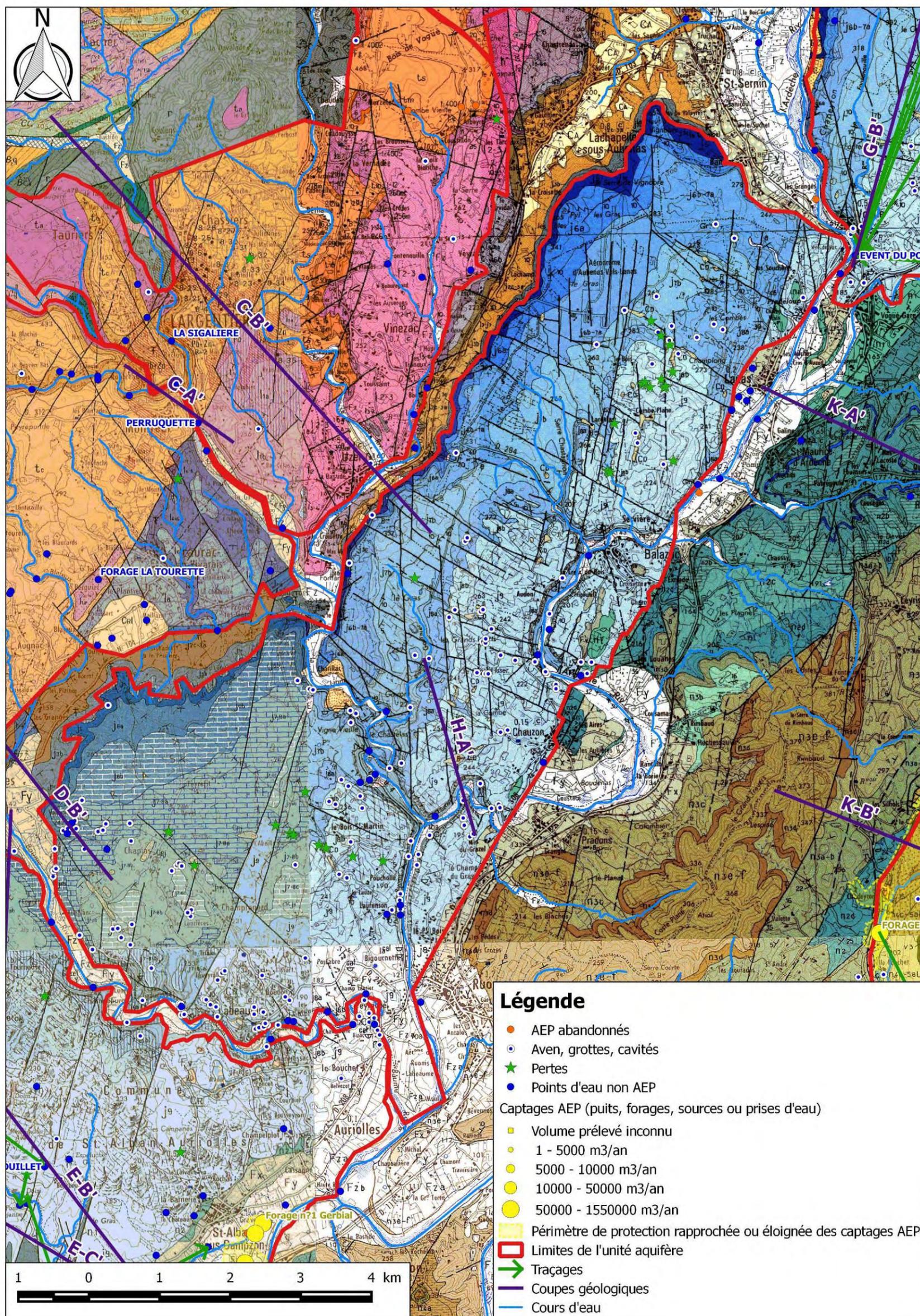
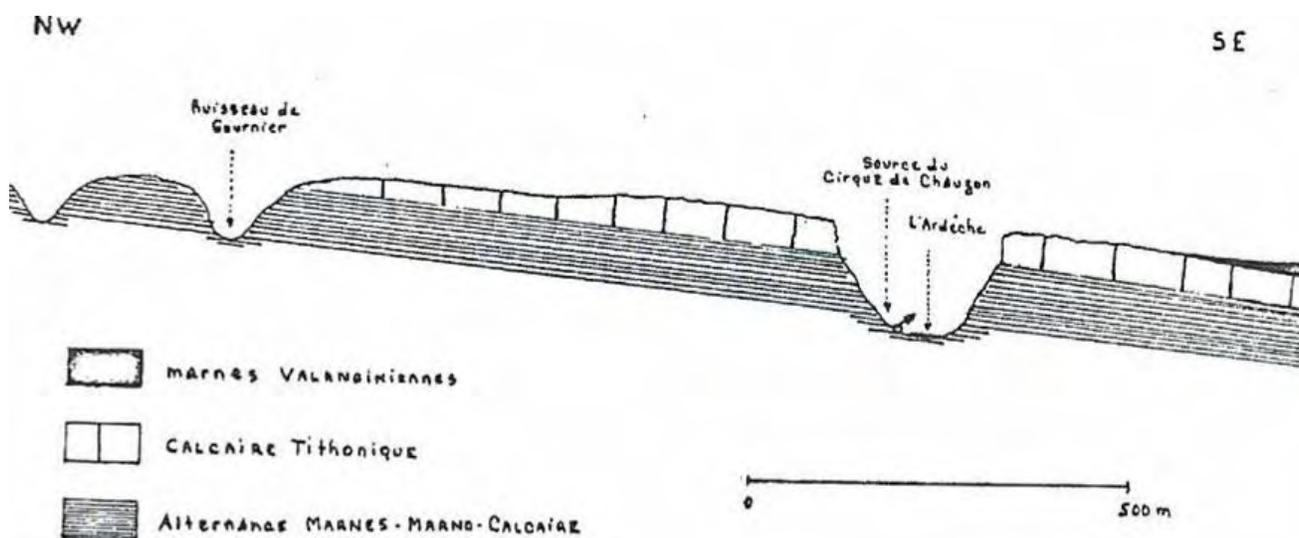


Figure 39 : limites de l'unité karstique Sud Voqué sur fond géologique

## 2.5.2. Hydrogéologie

L'unité karstique Sud Vogüé a une surface totale de l'ordre de 50 km<sup>2</sup> mais englobe seulement 23 km<sup>2</sup> de calcaires tithoniques. Elle est fragmentée en deux sous-unités karstiques par l'entaille des gorges de la Ligne :

- Le karst compris entre la cluse de Vogüé et la vallée de la Ligne : il s'agit d'un karst pelliculaire qui devient rapidement perché par rapport à l'Ardèche dans la région de Servièr. D'une superficie de l'ordre de 14 km<sup>2</sup> (plateau de Lanas et plateau de Chauzon), il se développe principalement sur 40 à 60 m de calcaires tithoniques. Il est majoritairement drainé par des émergences situées le long de la vallée de l'Ardèche qui l'entaille de plus en plus fortement jusqu'à faire émerger les sources dans la partie inférieure pourtant réputée moins perméable ; les principales émergences sont localisées au droit des failles (source du Cirque de Chauzon, sources de Lanas, source des Estinettes, source du Viel Audon), principalement orientées Nord 10-20° mais aussi au droit de petits accidents Nord 50°.
- Le karst compris entre les vallées de la Ligne, de l'Ardèche et de la Baume (plateau de Labeaume) : ce karst de 9 km<sup>2</sup> est peu intéressant sur le plan des ressources karstiques, il se subdivise en :
  - une zone où les calcaires sont perchés par rapport aux rivières (Figure 40) et où ils existent plusieurs émergences dont les sources du Pêcher et des Défilés qui possèdent toutes les deux une sortie haute et une sortie basse ;
  - Une zone où les calcaires sont au niveau des rivières et où il n'y a pas de sources mais un faible débit temporaire de suintement.



**Figure 40 : coupe HC' du karst au niveau du cirque de Chauzon (Pascal - 1970)**

L'unité karstique Sud Vogüé accueille quelques réseaux karstiques, notamment sur le plateau de Labeaume. Les principaux phénomènes karstiques ont été recensés par le comité départemental de spéléologie de l'Ardèche (Tableau 8 et Figure 41). Les coupes de ces réseaux sont reportées en annexe.

<b>PHENOMENES KARSTIQUES</b>		<b>DONNEES HYDROLOGIQUES</b>			<b>DONNEES TOPOGRAPHIQUES</b>	
<b>Nom</b>	<b>Commune</b>	<b>Siphon</b>	<b>Écoulement recoupé</b>	<b>Fonctionnement</b>	<b>développement (m)</b>	<b>dénivelé (m)</b>
Balazuc	Aulagners (exurgence des)		permanent	résurgence	6	-8
Balazuc	Beaussement (grotte de)	OUI	temporaire	trop plein	800	-7/+33
Balazuc	Chadenas (perte n°1 de)		permanent ?	perte	15	-15
Balazuc	Fabregoule (aven de)	OUI	permanent	perte	300	-40
Balazuc	Vieil audon (source du)	OUI	permanent	résurgence	0	
Balazuc	Aval Vieil Audon (source)		temporaire	source	0	
Chauzon	Baumes (résurgence des)		presque permanent	résurgence	0	
Chauzon	Bonheur (trou du)	OUI	temporaire	exurgence	150	-11/+15
Chauzon	Chaudonnes (source des)		temporaire	source	0	
Chauzon	Grande Baume (grotte n°1 de la)	4	temporaire	source	410	-5
Chauzon	Grande Baume (riv. Sout. En amont de la)			écoulement	0	
Chauzon	Grands Issarts (aven n°3 des)			perte	40	
Chauzon	Virage (perte)		temporaire	perte	50	-15
Chauzon	B1 (Perte)		temporaire	perte		-15
Chauzon	Syrah (aven)	OUI	temporaire	perte	1220	-25/+19
Chauzon	Cirque des Gens (source)			source	0	
Chauzon	Gournier (source)			source	0	
Chauzon	Turelure (Source)		temporaire	exurgence	10	-2
Labeaume	Abeille (perte n°1 de l')			perte	0	
Labeaume	Bedour (résurgence du)	5	permanent	trop plein	1400	-3
Labeaume	Chamontin (grotte n°1 de)	OUI	temporaire	trop plein	200	-3,6/+10
Labeaume	Crânes (trou des)		temporaire	perte	350	-23/+11
Labeaume	Croix de la mission (perte de la)			perte	47	-9
Labeaume	Eboulement (source de l')			source	0	
Labeaume	Espinassière (aven de l')				250	-20
Labeaume	Faveyrolle (aven de)					
Labeaume	Fendant (perte du)	OUI		perte	20	-20
Labeaume	Labeaume (exurgence n°1 de)			exurgence	30	
Labeaume	Labeaume (rivière souterraine de)	4	temporaire	écoulement	1050	-30
Labeaume	Limonade (émergence de la)	3	permanent	trop plein	300	
Labeaume	Murier (perte du)			perte	10	-10
Labeaume	Pêcher (baume du)	13	permanent	résurgence	2623	-31/+41
Labeaume	Ranc Vidal (aven du)		permanent		70	-25
Labeaume	Roudezet (source du)	3	temporaire	résurgence	138	
Labeaume	Ruines (source des)			source	0	
Labeaume	Saint Rome (aven de)		temporaire	cheminée	108	-51
Labeaume	Sauvage (perte du)			perte	15	-15
Labeaume	Soldat (grotte du)			trop plein	250	-3/+18
Labeaume	Cascade (Event)		temporaire	source		-15
Labeaume	Cascade (grotte de la)		permanent	trop plein	1200	+/- 30
Labeaume	Linsolas (aven)		temporaire			
Labeaume	L'hôpital (grotte)		permanent	trop plein	250	
Labeaume	Tufs (source des)	3	temporaire	exurgence	300	7,5
Labeaume	Vernades (grotte)		temporaire		50	
Labeaume	Chapias (perte)		temporaire	perte	15	
Labeaume	Clos de Lorion (aven)		permanent		300	-30
Labeaume	Remène 1 (grotte)		permanent	trop plein	2037	
Labeaume	Remène 2 (grotte)		permanent	trop plein	150	
Labeaume	Remène 3 (grotte)		temporaire	trop plein		
Labeaume	Remène (source)		permanent	source	0	
Lanas	Byron (aven)		temporaire	perte		
Lanas	Estinettes (résurgence des)	2	temporaire	résurgence	575	-51/+10
Lanas	Figueyrasse (grotte de la)	3	temporaire	exurgence	211	+12/-11
Lanas	Lanas (perte n°1 de)		temporaire	perte	200	-18
Lanas	Lanas (perte n°3 de)		temporaire	perte	250	-50
Lanas	Lanas (perte n°4 de)	OUI	temporaire	perte	300	-52
Lanas	Lanas (source n°1)	NON	permanent	source		
Lanas	Lanas (source n°2)	NON	temporaire	source		
Lanas	Lanas (source n°3)	NON	temporaire	source		
Lanas	Lanas (source n°4)	NON	temporaire	source		
Lanas	Lanas (source n°5)	NON	temporaire	source		
Lanas	Lanas (source n°6)	NON	temporaire	source		
Lanas	Papillon (grotte n°1)				70	-20
Lanas	Tracol (aven du)		temporaire	écoulement	100	-35

Tableau 8 : principaux phénomènes karstiques de l'unité Sud Voqué (CDS - 2015)

Sur le plateau de Lanas, le réseau lié à la résurgence des Estinettes est le plus remarquable.

Plus en amont, on observe quelques sources de trop-plein en hautes eaux et une sortie d'eau permanente au niveau du pont de Lanas qui enjambe l'Ardèche. La grotte de la Figueyrasse est une source temporaire. Sur le plateau, au lieu-dit des Favières, on observe une concentration de pertes temporaires qui présente une zone siphonnante non explorée à ce jour à la côte 167 m NGF, soit une vingtaine de mètres au-dessus du seuil de débordement des Estinettes. Cette zone semble propice à la mise en place d'un karst profond noyé, dont le potentiel reste à appréhender.

A l'aval de Balazuc, la source du Vieil Audon semble être en relation avec les pertes de l'aven de Fabregoule, qui présente un écoulement permanent à la côte 222 m NGF avec des zones siphonnantes. L'aven de Fabregoule peut s'envoyer, mais les vitesses d'écoulement restent « faibles », où en tout cas non suffisantes pour déplacer le matériel de pompage mis en place par le propriétaire.

La vallée sèche du Gournier commence son incision du plateau calcaire pour rejoindre la Ligne. Dans cette vallée, on trouve tout d'abord la Grande Baume qui se développe aux environs de la côte 170 m NGF mais dont le fonctionnement n'est pas clairement établi. En effet, deux sens d'écoulement y ont été observés à l'étiage. Vers le vallon de Gournier jusqu'au S3 et vers l'Ardèche au-delà.

L'aven Syrah est en relation avec la résurgence des Baumes distante de 70 m du terminus de l'aven.

En rive droite de l'Ardèche, après le Vieil Audon, on trouve tout d'abord la source des Aulagners malheureusement impénétrable, mais dont le débit cumulé de griffons est loin d'être négligeable. Légèrement en aval, la grotte de Beussement s'ouvre au-dessus de l'Ardèche, mais son exploration a permis d'atteindre un siphon (encore non exploré) au niveau de l'Ardèche.

La source temporaire des Chaudonnes (impénétrable), au pied du village de Chauzon, semble drainer le plateau calcaire et pourrait être alimentée par la Grande Baume du vallon de Gournier à la faveur d'une faille visible sur le terrain.

Sur le plateau de Chauzon, on peut citer :

- La résurgence du Vieil Audon : sous éboulis, captée pour le hameau ; l'aven Fabregoule est une branche active du réseau dont le débit d'étiage est infime.
- Système Beussement/Aulagners : la grotte de Beussement a été explorée sur plus de 800 m et s'arrête pour l'instant sur un siphon. Elle n'est partiellement active qu'en crue ; un minuscule ruisseau sort à la base de l'entrée lors d'étiages pas trop sévères de moins de 1 l/mn. La relation avec l'exurgence des Aulagners (débit également infime à l'étiage) n'est pas prouvée mais les différents griffons qui jaillissent plus haut peuvent cumuler près d'un 1 m<sup>3</sup>/s en grosse crue.
- Aven Syrah : cette découverte du S.C.A. en 1995 est le drain principal temporairement actif qui résurge côté Ligne (ruisseau de Gournier) ; le débit d'étiage est évalué à moins de 1 l/s dans la source vaclusienne et le réservoir noyé est très faible (l'essentiel des galeries est en régime vadose).

Le plateau de Labeaume s'étend ensuite depuis la Ligne jusqu'à la rivière la Baume. On observe un grand nombre de sources sur tout son pourtour. Dans la partie Nord, celles-ci sont perchées au-dessus de la Ligne (Cascade et Baume du Pêcher) puis de l'Ardèche (Limonade). La Baume du Pêcher est la plus importante. Elle développe 2,5 km de galerie sur un profil horizontal avec de nombreux siphons (10) dont le plus profond atteint la cote 118 m NGF (niveau du fil d'eau de la Ligne). Le terminus actuel de la cavité correspond en surface à une zone de perte dont la principale (explorée sur 20 m de profondeur) est toute proche.

A l'Ouest du plateau de Labeaume, la grotte de Rémène est à relier au Clos du Lorion tout proche. Cet ensemble semble drainer le nord du hameau de Chapias. On trouve ensuite la grotte de Baraille qui semble être en relation avec l'aven de l'Espinassière. On rentre ensuite dans les gorges de la Baume. La résurgence du Bédour développe environ 1,5 km et semble drainer la partie Sud du hameau de Linsolas à la faveur d'une faille.

Sur le plateau, au-dessus du village de Labeaume, se développe sur environ 1 km, la rivière souterraine de Labeaume à la cote 160 m NGF et draine le secteur de Champrenard. La sortie se situe sans aucun doute en rive gauche de la Baume en aval du village. Plus à l'aval, on trouve la source du Tufs qui draine le secteur du Ranc Vidal, puis la source du Redouzet qui draine le secteur de la Bigournette. La multitude de sources, qui semble drainer chacune une partie distincte du plateau de Labeaume, l'absence de zone noyée profonde (hormis la Baume du Pêcher) ne semblent pas propices à la mise en place d'un karst profond sur cette zone.

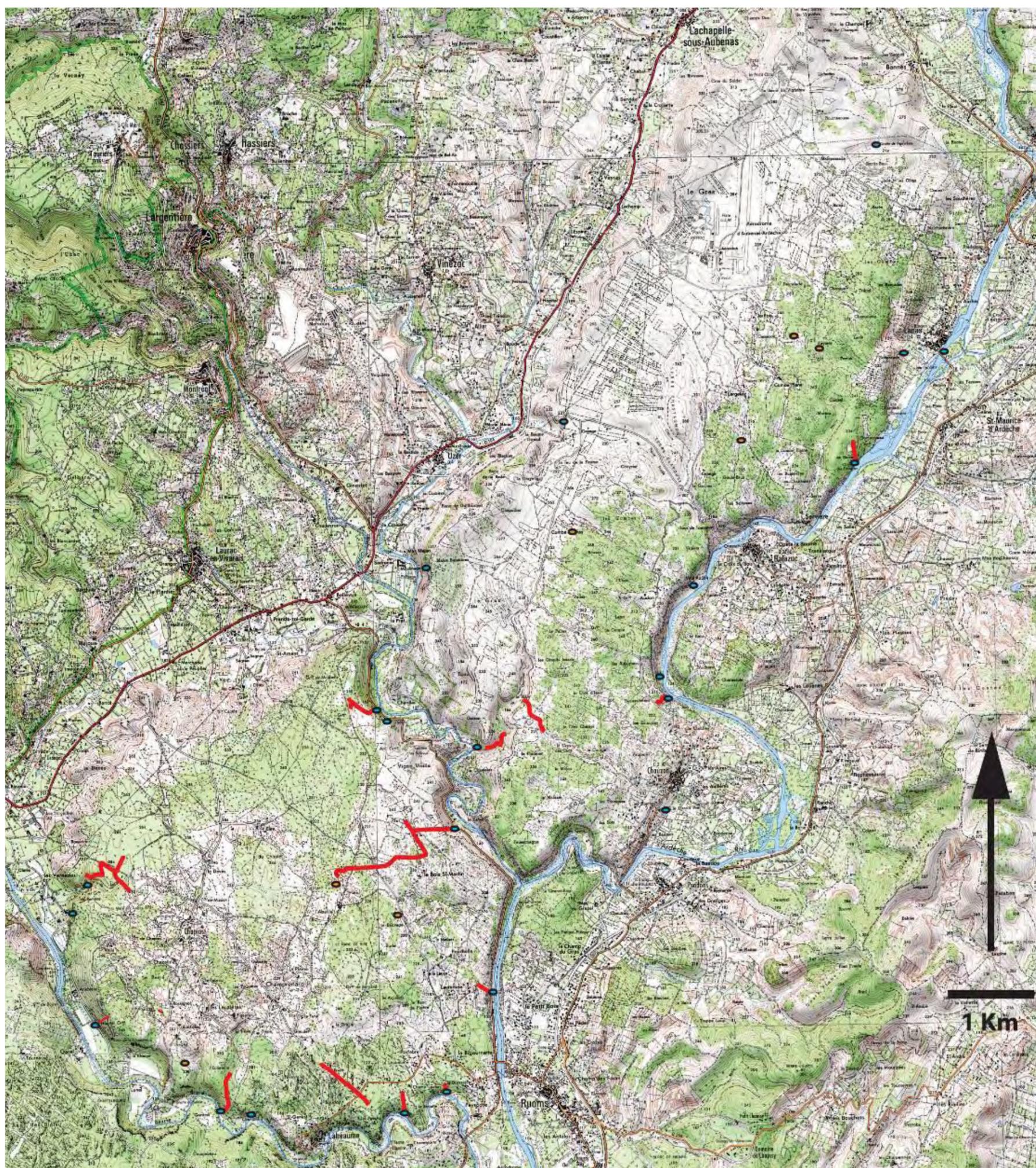
Dans le défilé de Ruoms, on trouve successivement :

- Le système Cascade/trou des Crânes : cavités très proches (1200 m et 300 m) temporairement parcourues par un ruisseau qui peut envoyer plusieurs parties ; le débit d'étiage est négligeable.
- La Baume du Pêcher : cavité la plus importante du plateau (+ de 2500 m), composée de nombreux siphons, elle remonte jusqu'au domaine de l'Abeille ; l'entrée n'est émissive qu'en crue (+ de 2 m<sup>3</sup>/s), le ruisseau à l'étiage sort quelques mètres en contrebas, le débit est négligeable.
- La grotte de la Limonade : une plongée de Thierry Marchand a permis de remonter la cavité sur quelques dizaines de mètres et de permettre au propriétaire d'effectuer un forage au niveau du S2. Débit d'étiage très faible (- 1 l/s).

En rive gauche de la Baume, on rencontre d'amont en aval :

- La grotte de Remène : importante cavité à poursuivre explorée sur plus de 2000 m par l'auteur drainant les environs de Chapias, mais le débit d'étiage ne dépasse pas ½ l/s et les siphons sont de faible capacité.
- Les grottes des Vernades et de l'Hôpital : écoulements temporaires.

- La résurgence du Bridouir : grotte non émissive croisant un actif d'environ 1 l/s remonté sur 1 km. Le collecteur sort à l'étiage à la grotte de Chamontin.
- La résurgence de la Rivière de Labeaume : actif temporaire émergeant dans deux petites résurgences dont une impénétrable, l'autre stoppe sur un petit siphon.
- La résurgence des Tufs : débit d'étiage de moins de 1 l/mn ; elle draine l'aven du Ranc Vidal.
- Les autres sources ont un débit insignifiant.



**Figure 41 : report des principaux réseaux spéléologiques de l'unité Sud Voqué sur fond IGN (CDS - 2015)**

### 2.5.2.1. *Recharge naturelle, aire d'alimentation et exutoires*

La recharge naturelle de cette unité karstique se fait exclusivement par infiltration directe des précipitations sur les affleurements du Kimméridgien supérieur – Tithonique et ceux de l'Oxfordien terminal au Kimméridgien moyen de la partie Ouest du plateau. Le système est donc unaire et l'aquifère strictement libre.

Les eaux météoriques rejoignent rapidement les réseaux de fractures fossiles, se retrouvent drainées par le karst épidermique et résurgent tout au long de la rive droite de l'Ardèche.

La seule partie de cette unité qui pourrait présenter une zone noyée potentielle est celle située à l'extrémité Nord de l'unité au niveau de la résurgence la plus remarquable de ce système, celle des Estinettes. D'après Thierry Marchand, le réseau se développe sur environ 300 m, le siphon terminal a été exploré jusqu'à -52m et ne s'arrête sur rien. Le débit d'étiage est inconnu car il sort dans l'Ardèche. Le conduit noyé s'enfonce rapidement à une quarantaine de mètres sous le cours de l'Ardèche à la cote 85 m NGF. En crue, le débit de trop-plein peut atteindre 200 l/s. Un essai de traçage couplé avec une identification des sorties d'eau potentielles et des jaugeages sur l'Ardèche pourraient donner des indications sur la nature, les limites et les caractéristiques de cet hypothétique petit réservoir.

Les émergences sont vaclusiennes au Nord de la Ligne et jurassiennes au Sud.

### 2.5.2.2. *Piézométrie, gradient, direction d'écoulement*

En l'absence d'accès aux écoulements souterrains, il est impossible de dresser une esquisse piézométrique et de fournir une quelconque indication sur le gradient des écoulements. Ces derniers se font vers le niveau de base représenté par l'Ardèche.

Cette unité karstique n'a jamais fait l'objet de coloration.

### 2.5.3. *Appréciation du potentiel quantitatif*

L'unité karstique Sud Vogüé est un karst perché qui ne présente pas de réel potentiel quantitatif.

La seule zone d'intérêt qui pourrait éventuellement faire l'objet d'investigations complémentaires (jaugeages et traçages) correspond au plateau de Lanas, là où le karst semble être le plus épais et le plus développé et dans la zone où le système est susceptible de présenter une zone noyée, c'est-à-dire entre Lanas et le hameau de Servièrè.

### 2.5.4. *Echanges nappe/rivière*

L'unité karstique Sud Vogüé est drainée par l'Ardèche à l'Est, la Ligne au centre et la Baume au Sud. L'Ardèche est donc caractérisée par des entrées d'eau karstiques tout au long de son cours dans la traversée de cette unité.

### 2.5.5. Vulnérabilité intrinsèque /Occupation des sols/Pressions

La zone très karstifiée des plateaux constituant l'unité karstique Sud Vogüé est sans aucun doute le siège de temps de transfert très courts entre la surface et les différents exutoires localisés dans la vallée de l'Ardèche. La dilution au sein du karst est probablement très faible. La vulnérabilité intrinsèque de cet aquifère karstique est donc élevée.

Concernant l'occupation des sols (Figure 42 et Tableau 9), elle est plutôt variée. L'unité karstique Sud Vogüé est majoritairement occupée par les pâturages naturels, la forêt et la végétation arbustive et les landes et broussailles. L'extrémité Nord-Ouest du plateau de Lanas accueille également l'aérodrome d'Aubenas.

Il n'y a pas de prélèvements sur cette unité.

Type d'occupation des sols	Surface (km <sup>2</sup> )	% surface
112 : Tissu urbain discontinu	0,42	0,71%
142 : Equipements sportifs et de loisirs	0,95	1,59%
221 : Vignobles	0,43	0,71%
242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes	1,13	1,88%
243 : Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	1,63	2,73%
311 : Forêts de feuillus	12,67	<b>21,16%</b>
321 : Pelouses et pâturages naturels	17,60	<b>29,39%</b>
322 : Landes et broussailles	11,38	<b>19,01%</b>
324 : Forêt et végétation arbustive en mutation	13,67	<b>22,82%</b>
	<b>59,89</b>	<b>100,00%</b>

**Tableau 9 : répartition de l'occupation des sols sur l'unité Sud Vogüé**

Concernant les sites industriels, la pression peut être considéré comme quasi-nulle puisqu'il est recensé seulement deux installations classées sur les communes de Ruoms et Labeaume, carrière et marbrerie de Labeaume, installations soumises à autorisation.

Il n'y a ni site pollué, ni site industriel ancien ou actuel recensé sur cette unité.

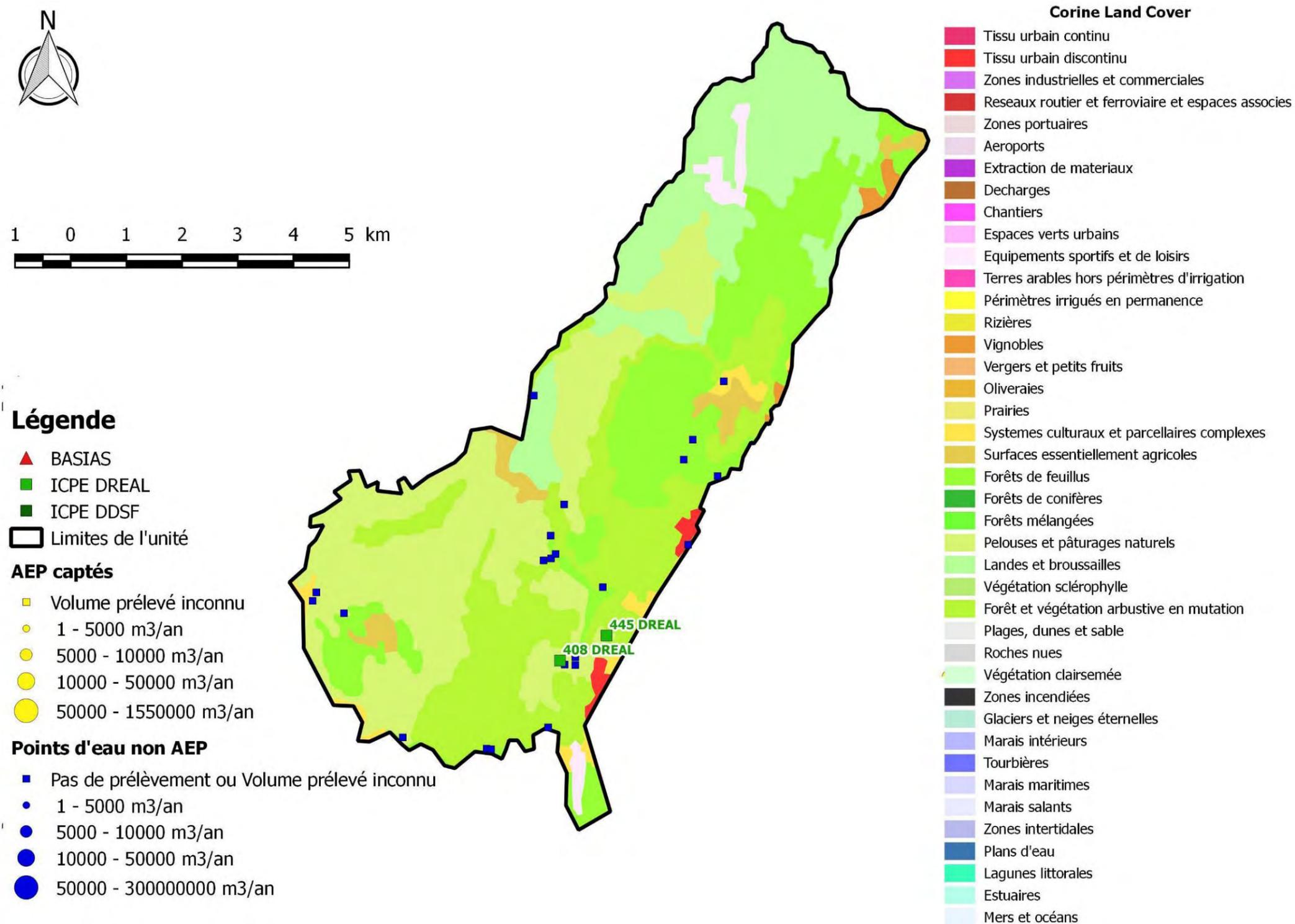


Figure 42 : occupation des sol, prélèvements et pressions industrielles sur l'unité Sud Voqué (Corine Land Cover)

## 2.6. L'unité St Alban-Auriolles

### 2.6.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité « Saint Alban Auriolles » est caractérisée par un vaste affleurement calcaire du Jurassique. Cette unité s'étend sur les territoires communaux des Assions, Berrias et Casteljou, Joyeuse, Lablachère, et principalement Chandolas et Saint Alban Auriolles.

L'unité St-Alban-Auriolles est limitée :

- A l'ouest par une grande faille régionale de direction cévenole nord-ouest / sud-est, la faille dite de « Païolive » qui met en contact les horizons jurassiques avec ceux du Trias.
- Au nord, par les gorges de la Beaume.
- Au sud, par les gorges du Chassezac qui incisent les calcaires jurassiques.
- A l'est, par le Chassezac dont les dépôts alluviaux masquent le contact entre les calcaires jurassiques et les marnes du Valanginien (n<sub>2</sub>).

Hormis les cours d'eau cités ci-avant qui l'encadrent, ce secteur est parcouru uniquement par des ruisseaux temporaires.

L'unité Saint Alban a une surface d'environ 40 km<sup>2</sup> constituée majoritairement à l'affleurement de calcaires du Jurassique supérieur. La structure générale de cette unité karstique est un monoclin avec un pendage assez monotone de 5 à 10° vers le sud-est. Les calcaires jurassiques s'enfoncent ensuite au niveau du Chassezac au sud-est de notre unité sous les marnes valanginiennes. A noter que sur l'emprise de notre massif rive gauche du Chassezac, une petite partie est recouverte des marno-calcaires berriasiens (n<sub>1</sub>) ; ces marno-calcaires sont toutefois d'une épaisseur limitée (environ 25 m), fracturés et partiellement érodés.

La fracturation kilométrique et hectométrique est principalement regroupée sous deux directions : N0 à N20° et N120 à N130°, mais il existe une direction secondaire N40° bien représentée pour les fractures longues [10].

La faille de Païolive constituerait à l'ouest une barrière a priori imperméable.

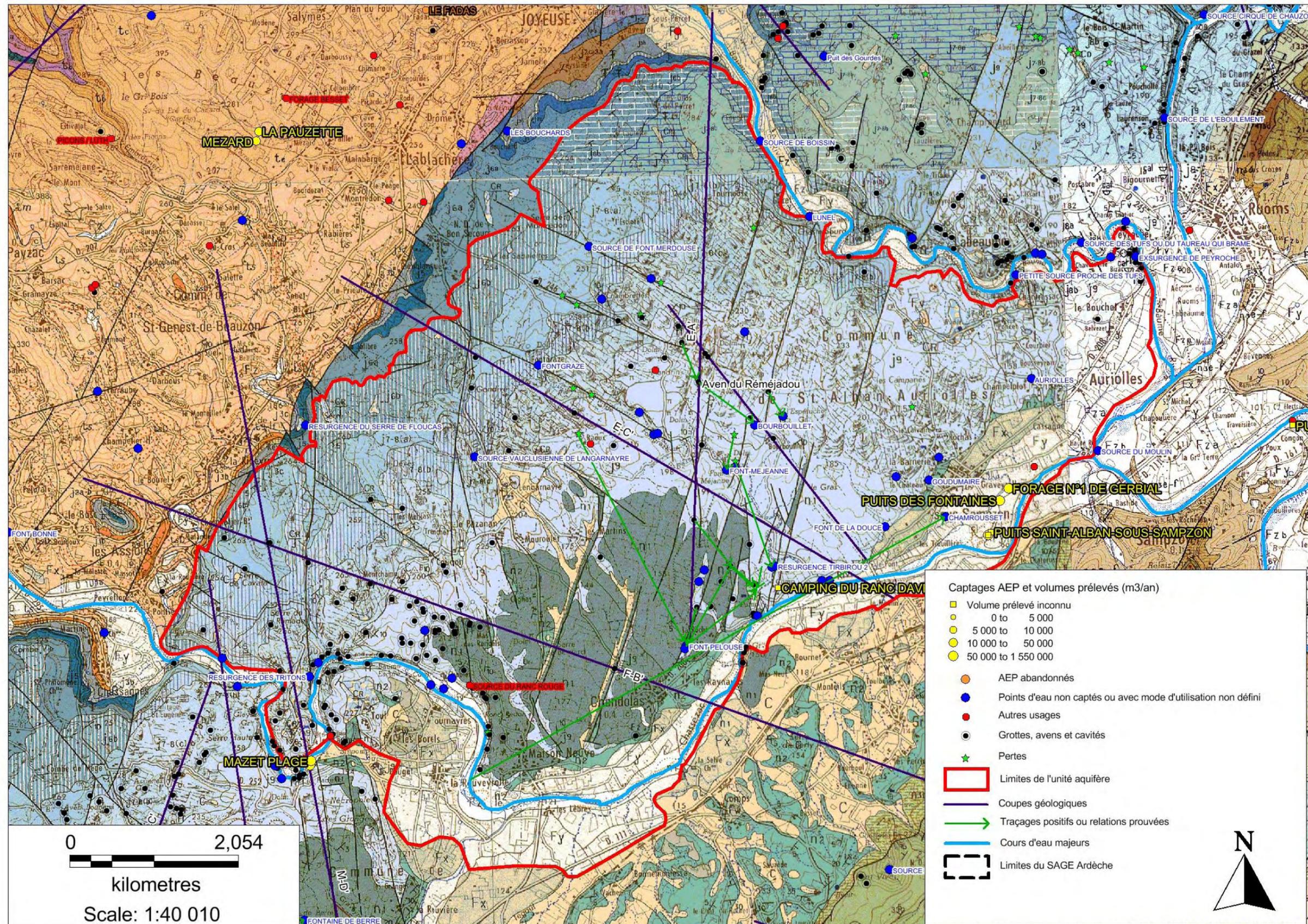


Figure 43 : limites de l'unité karstique Saint-Alban-Auriolles sur fond géologique



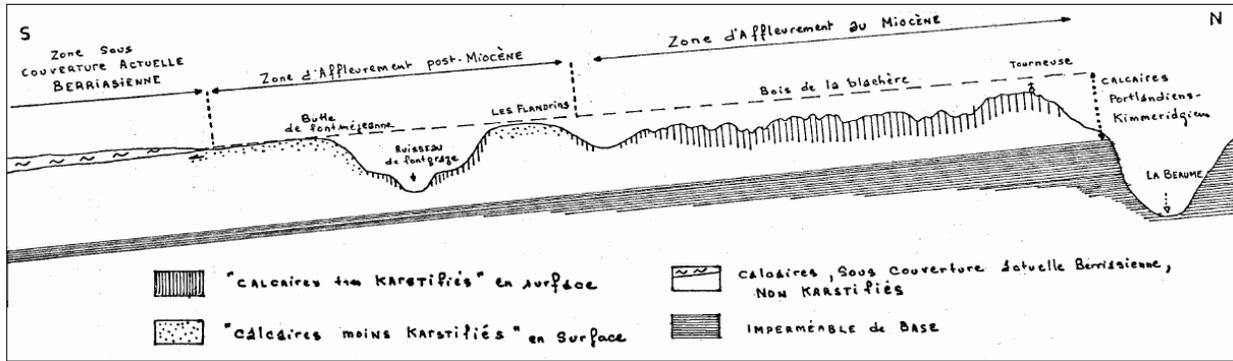


Figure 45: coupe géologique E-A' du karst situé entre la Baume et le Chassezac (Pascal, 1970)

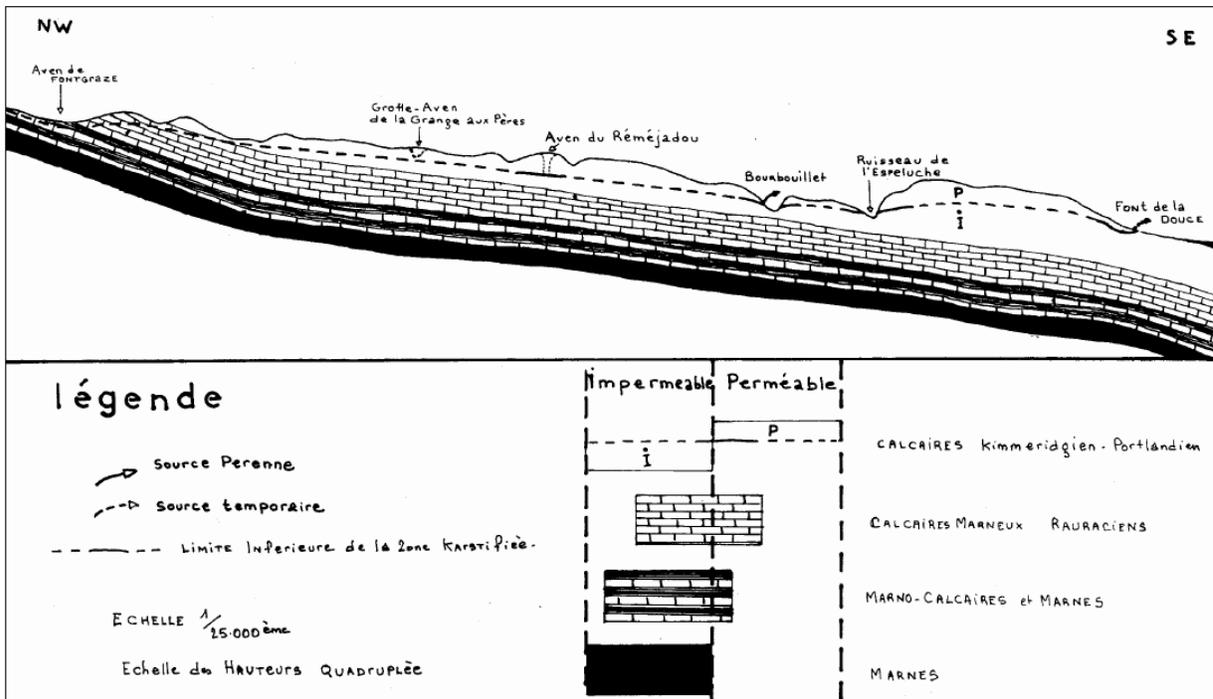


Figure 46: coupe géologique E-B' de la partie très karstifiée du karst de St-Alban (Pascal, 1970)

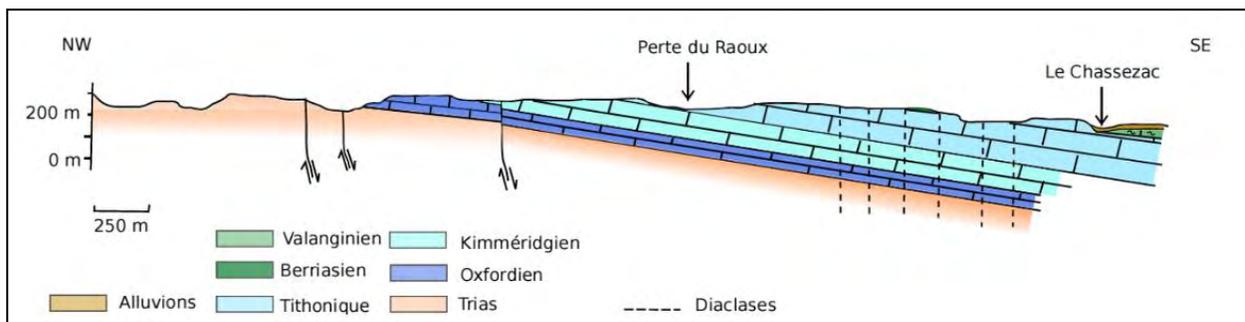


Figure 47: coupe géologique E-C' du karst de St-Alban (Poulin, 2013)

D'un point de vue hydrogéologique, certaines zones se trouvent plus karstifiées que d'autres. Cependant contrairement à ce qui était avancé historiquement [7], la couverture berriasienne n'a pas empêché la karstification des calcaires tithoniques sous-jacents.

Le secteur est marqué par le système Réméjadou – Bourbouillet (rivière souterraine pérenne). Les récentes avancées spéléologiques (Serret) sur le secteur tendent à montrer que les réseaux karstiques se sont principalement développés selon des grandes directions de fractures induisant une direction générale d'écoulement vers le sud-est avec une composante vers le sud. Les spéléologues constatent des écoulements permanents dans certaines cavités, des liaisons avec des émergences de trop-plein et quelques rares sources permanentes en rive gauche du Chassezac. Enfin certains réseaux montrent des siphons. Les orientations des réseaux pénétrables sont clairement dictées par les grandes directions des fractures, le long desquelles des pertes et des sources temporaires jalonnent notre système.

Les découvertes spéléologiques récentes concernent également des réseaux pénétrables dans les calcaires sous la couverture berriasienne où la karstification semble également conditionnée par les grandes fractures.

Sur ce secteur, 3 stages de master de l'université de Montpellier se sont succédés (Fontanel en 2012 [11], Poulin en 2014[10] et Palumbo en 2015[12]). Ils ont permis de dresser le contexte hydrogéologique, inventorier les points d'eau et tenter d'interpréter des chroniques d'enregistrement de température, conductivité de l'eau et niveau de certaines sources (sources de Fontgraze, Bourbouillet, La Douce, Tirbirou, Puits Pelouse et Ranc d'Avene), sans oublier des jaugeages sériés de la Beaume et du Chassezac, l'analyse d'éléments traces et la réalisation d'un profil température – conductivité sur le Chassezac.

Dans le cadre de l'étude des ressources stratégiques du bassin de l'Ardèche, nous avons fait des investigations complémentaires sur le Chassezac durant l'été 2015, ce qui a permis de mettre en évidence un site d'émergences karstiques diffuses sous le lit du Chassezac (débit estimé par jaugeages différentiels du Chassezac) à environ  $250 \text{ m}^3/\text{h}$ , à l'aval de la source temporaire du Ranc d'Avene.

Le rapport de traçage de 1988 à partir des pertes de Maisonneuve n'a pu être retrouvé pour l'instant. La relation hydraulique pertes de Maisonneuve – ruisseau des Fontaines n'est pas remise en cause mais les conditions de transfert d'amont en aval restent floues et la part provenant du kart de Saint Alban est inconnue.

L'unité « Saint Alban » a aujourd'hui comme niveau de base le Chassezac. Cependant, la présence de sources sortant sous le fil d'eau du Chassezac et le recoupement d'une cavité à 70 m de profondeur dans un forage AEP du SEBA montrent que les réseaux karstiques se sont développés sous le niveau de base actuel, laissant présager des réserves noyées potentiellement intéressantes.

Les réseaux karstiques connus actuellement se situeraient plutôt dans la zone épinoyée, avec des mises en charge alimentant des sources de trop-plein ; les exutoires permanents seraient masqués par les dépôts alluviaux du Chassezac.

La question d'une importante zone noyée dans l'unité Saint Alban reste posée.

### **Connaissance des réseaux karstiques**

Il s'agit du secteur des calcaires jurassiques supérieurs délimités par la Beaume au nord et le Chassezac au sud. Ce secteur a fait l'objet d'importantes découvertes spéléologiques dans sa partie sud sous la couverture berriassienne réputée jusqu'alors comme peu karstifiable.

On peut découper ce vaste secteur en trois sous-ensembles, détaillés ci-après :

- **Au nord : la boucle de Peyroche et le karst de Saint Alban-Auriolles**

Lors de la traversée du plateau jurassique, le cours de la Beaume s'encaisse et les méandres se resserrent de plus en plus jusqu'à la confluence avec l'Ardèche. Dans le dernier méandre de la rivière, les explorations spéléologiques ont permis de mettre en évidence un nombre important de cavités qui laisse à penser que la rivière effectue ici un recouplement de méandre (ex : Platane – Emilie – Peyroche qui développe en totalité environ 1Km).

Plus au Sud, au cœur du village de Saint-Alban se trouvent deux sources karstiques temporaires (Bourgène et Château). De par leur positionnement perché, la faiblesse des débits à l'étiage, l'absence de zone noyée (même de faible profondeur) et l'orientation des réseaux spéléologiques connus, ces sources drainent uniquement la partie Est du plateau de Saint-Alban (les Campans).

Au Nord de ce secteur, se développe le réseau du Gadret (encadré par deux failles importantes), qui donne naissance à une source temporaire de faible débit, l'une des rares sources de la Beaume sur sa rive droite.

- **Au centre : Ruisseau de Bourbouillet – Fontgraze et Puits Pelouse**

C'est le secteur où se développe le plus de cavités souterraines connues.

Ce secteur est caractérisé par des zones de pertes sur les parties Ouest du plateau et de nombreuses sources à l'Est dont le niveau de base correspond à la vallée sèche de Bourbouillet.

- Remejadou – Bourbouillet – Espeluche au nord
- Font Méjanne alimente le ruisseau de Fontgraze (affluent de Bourbouillet)
- Reinette – Tirbirou sont très proches du Ranc d'Aven qui marque la confluence du ruisseau de Bourbouillet avec le Chassezac.
- Puits Pelouse plus au sud se déverse dans le Chassezac

Le développement des réseaux spéléologiques est conditionné par la géologie (pendage) et sans nul doute par la fracturation au sein du massif. Il faut noter que la zone noyée du Remejadou et de Font Méjanne atteint l'altitude du Chassezac à la faveur de faille géologique.

En crue, l'ensemble des réseaux spéléologiques est émissif, et l'importante quantité d'eau évacuée (plusieurs m<sup>3</sup>/s) est drainée par le ruisseau de Bourbouillet vers le Chassezac, jusqu'à la confluence au niveau du Ranc d'Aven. A l'étiage, peu de sources sont vraiment actives et les écoulements connus semblent se diriger vers le Ranc d'Aven.

La source du Ranc d'Aven semble constituer le trop-plein d'un réseau actif y compris à l'étiage, puisque:

- le débit d'étiage de la source est nul l'été, alors que le niveau de la vasque de la source baisse à l'étiage
- des sorties diffuses ont été identifiées en rive gauche du Chassezac en amont de la confluence avec le ruisseau de Bourbouillet: à environ 250m au Sud de la source de trop-plein, dans le prolongement de grandes fractures ; à l'étiage, le débit a été estimé à 250 m<sup>3</sup>/h (par jaugeages différentiels du Chassezac).

La source de Font la Douce est une source temporaire associée à un réseau karstique d'un développement d'environ 1,5 Km. Les spéléologues ont toutefois noté la présence d'un écoulement permanent provenant d'un siphon dont le point bas se développe sous le niveau du Chassezac. D'après les observations de ces derniers, la source de Font la Douce serait influencée par le régime hydrologique de la Beaume lorsque celle-ci est en crue.

- **Au sud : Coudon et la rive gauche du Chassezac**

La limite entre ces deux secteurs (Bourbouillet – Coudon) est très aléatoire mais nous l'avons positionnée théoriquement au niveau de la D104.

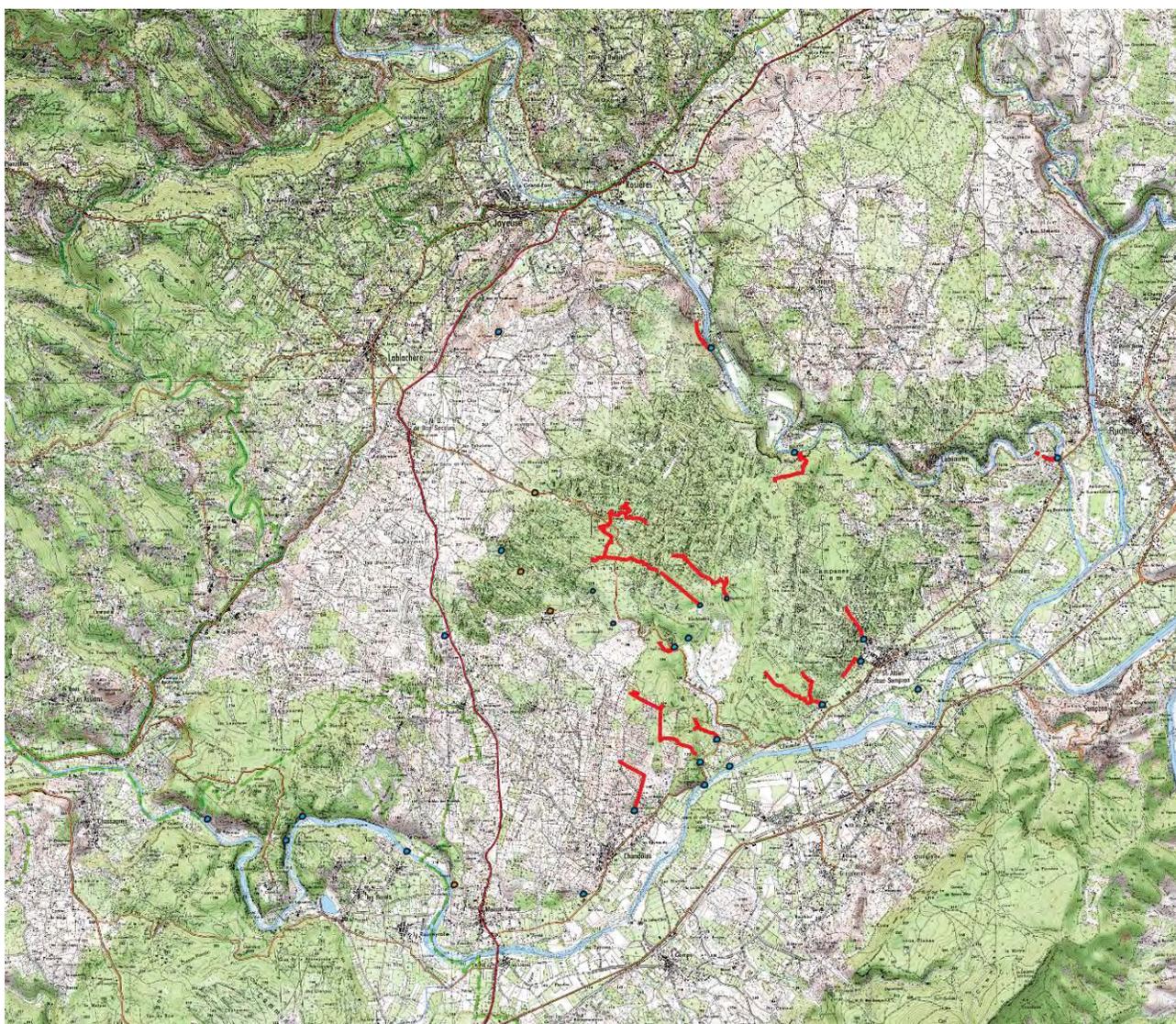
Ce secteur est drainé vers le Chassezac par de nombreuses sources. Ces sources émergent principalement au niveau des ruisseaux qui ont entaillé le plateau (ruisseau des Ceyrèdes et ruisseau du Merle). Les conduits sont de faible dimension, les débits à l'étiage inexistant, ce qui réduit beaucoup le potentiel de cette zone.

Etude d'identification et préservation des ressources souterraines stratégiques pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche – Phase 1.

L'ensemble des réseaux spéléologiques connus sur ce secteur représente environ 12,5 km de linéaire. Voici les réseaux importants connus à ce jour :

Cavité NOM	Commune	Données hydrologiques			Données topographiques	
		SIPHON	écoulement	fonctionnement	developpement	dénivelé
<b>Entité St Alban</b>						
Barnerie (résurgence)(5 fiches)	St Alban Auriolles	oui	temporaire	résurgence	1000	
Burbouillet (évent aval Reméjadou du)	St Alban Auriolles	11	permanent	résurgence	1200	-53
CAM4 (perte)	St Alban Auriolles			perte	10	-10
Cascades (évent des)	St Alban Auriolles	oui	temporaire	émergence	56	-10
Douce (font de la)	St Alban Auriolles	2	permanent		1552	-25/+15
Douce Paulette (grotte de la)	St Alban Auriolles	oui			166	-21/4
Espeluches (aven de)	St Alban Auriolles	oui	permanent		18	-18
Espeluches (évent des)	St Alban Auriolles	9	permanent		1100	-40/+10
Gadret (grotte du)	St Alban Auriolles				765	-10/66
Martin pêcheur (grotte du)	St Alban Auriolles				327	39
Peyroche (exurgence de)	St Alban Auriolles		temporaire	exurgence	9	1,3
Peyroche (grotte n°2 de)	St Alban Auriolles				323	-8
Peyroche (grotte n°7 de)	St Alban Auriolles		temporaire	exurgence	23,5	4,4
Peyroche (grotte n°8 de)	St Alban Auriolles				47	1,5
Platane (grotte du)	St Alban Auriolles				200	4
Reméjadou (branche amont du)	St Alban Auriolles	11	permanent		1465	-51
Source du platane	St Alban Auriolles		temporaire	source	35	1
Garel (émergence du)	Joyeuse	4		émergence	332	-3
RB1 (grotte)	Joyeuse			perte	40	-6
Berger (grotte du)	Lablachère		temporaire	perte	30	-7
Champ de la Vigne (perte n°1 du)	Lablachère		temporaire	perte	38	-17
Champ de la Vigne (perte n°2 du)	Lablachère		temporaire	perte	36	-10
Fontgraze (aven de)	Lablachère		temporaire	perte	30	-25
Ranc du Bœuf (aven du)	Lablachère	10 ?			680	-28
Font Gras (aven de)	Grospierres	oui		cheminée d'équilibre	80	-21
Quesaco (font de)	Grospierres	9 ?		source	500	-26
Ranc d'avène (source)	Grospierres			émergence	6	-6
Tirbirou (la résurgence du)	Grospierres	2	temporaire	résurgence	270	-6
Tirbirou (la résurgence du) (2ème entrée)	Grospierres	2	temporaire	résurgence	10	-10
Aigues Bosc (la font d')	Chandolas	3 ?			90	-7
Alain Bonneton (perte)	Chandolas	oui		perte	150	-10
Isis (perte)	Chandolas	oui	active	perte	70	-15
Méjanne (fontaine)	Chandolas	oui	pérenne	résurgence	199	-33
Pelouse (puits de)	Chandolas	2		émergence	360	-12
Raoux (perte des)	Chandolas			perte	53,5	-29
Saint Victor (perte de)	Chandolas	oui		perte	73	
Saint Arnaud (baume)	Les assions	oui			211	-17
Denaille de Boissin (grotte de la)	Berrias et Casteljau	oui			467	5
Malbos n°46 (rivière souterraine de)	Berrias et Casteljau	oui			355	
Tritons (résurgence des)	Berrias et Casteljau	2	se tarie à l'étiage	résurgence	84	
Sans nom (résurgence semi-active)	Berrias et Casteljau	probable	temporaire	résurgence	15	

**Tableau 10 : inventaire bibliographique des cavités en eau de l'unité Saint-Alban (Source : CDS07)**



***Figure 48 : report des réseaux spéléologiques de l'unité « Saint-Alban-Auriolles» (CDS - 2015)***

### 2.6.2.2. Piézométrie, gradient, direction d'écoulement

Plusieurs essais de pompages ont été réalisés sur le secteur de Gerbial / St-Alban-Auriolles (site d'exploitation de nombreux captages par le SEBA)[13, 14], les niveaux statiques des ouvrages en lien avec le réseau karstique sont résumés dans le tableau suivant :

FG1	Statique: <b>-1,98 m/TN</b> (le 16/08/2012)
FG2	Statique: <b>-0,67 m/TN</b> (le 17/08/2012)
Puits des Fontaines	Statique: <b>-1,97 m/TN</b> (le 17/08/2012)

***Tableau 11 : niveaux statiques des ouvrages de Gerbial liés au réseau karstique***

Les récentes avancées concernant le karst de Saint-Alban ont permis de mieux cerner les directions d'écoulement, qui demandent à être précisées.

La couverture Berriassienne évoquée par Pascal en 1970 [7] et empêchant une karstification est aujourd'hui remise en question. De la même façon, le conduit karstique reliant les pertes du Chassezac au site de Gerbial ne semble pas être aussi franc et direct que l'a montré l'étude de traçage de 1988.

Il semble y avoir deux directions d'écoulement conditionnées à la fois par le pendage sud-est du massif calcaire et à la fois par la direction nord-sud du réseau de failles. Sur le terrain cela se traduit d'une part par des systèmes avec des directions d'écoulements NO-SE (par exemple le système Réméjadou-Bourbouillet) et d'autre part par des systèmes qui ont en premier lieu une direction NO-SE puis qui s'orientent dans la direction des failles N-S (par exemple le système perte du Raoux-Font Pelouse).

Dans le cadre de l'étude d'identification et préservation des ressources souterraines stratégiques pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche, les travaux de traçages prévus au cours de l'année 2016 devraient apporter des compléments sur ces directions d'écoulements.

### 2.6.2.3. Paramètres hydrodynamiques et vitesses de transfert (y compris tableau des traçages)

Plusieurs essais de pompages ont été réalisés sur le secteur de Gerbial [13, 14], les paramètres hydrodynamiques concernant les ouvrages en lien avec le réseau karstique sont résumés dans le tableau suivant :

FG1 du 08/08 au 21/08/2012 176 m <sup>3</sup> /h	T=2,24.10 <sup>-1</sup> m <sup>2</sup> /s Piézomètre FG2: S= 13,4%
FG2 du 26/07 au 21/08/2012 197 m <sup>3</sup> /h	T=1,95.10 <sup>-1</sup> m <sup>2</sup> /s Piézomètre FG1: S= 7%
Puits des Fontaines du 16/08 au 18/08/2010 107 m <sup>3</sup> /h	T= 1,94.10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s Piézomètre des Fontaines: T= 2,5.10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s et S=30,4%

**Tableau 12 : paramètres hydrodynamiques des ouvrages de Gerbial exploitant l'aquifère karstique**

Plusieurs expériences de traçages ont été mises en œuvre sur cette unité karstique :

- Réméjadou => Bourbouillet  
Pascal, 1970 : en 1969, injection de 400g de fluorescéine au Réméjadou, coloration de la source de Bourbouillet 12h après, soit une vitesse de l'ordre de 70 m/h.
- Perte du ruisseau du Bois de la Blachère => résurgence de la Blachère  
Pascal, 1970 : le 6/01/1970, injection de 80-100g de fluorescéine dans une perte du ruisseau du Bois de la Blachère, coloration de la résurgence située 450 m plus au sud.
- Pertes du Chassezac à Maisonneuve => source de Chamrousset et ruisseau des Fontaines

Géo+, 1988 : Dans le cadre de l'étude des pertes du Chassezac, il a été démontré qu'en dessous de 1,5 m<sup>3</sup>/seconde, le Chassezac disparaît entièrement dans son propre lit en amont du pont de Maisonneuve, qu'il reste sec sur 8 km pour enfin réapparaître dans la zone de résurgences du secteur des Fontaines à Saint Alban Auriolles. Le ruisseau des Fontaines représente à lui seul un peu plus de 50% du débit des pertes. Le 21/09/1988, 3kg de fluorescéine ont été injectés. Ce traçage a mis en évidence une relation hydraulique entre les pertes du Chassezac en amont du pont de Maisonneuve, et la source de Chamrousset et le ruisseau des Fontaines avec toutefois une seule valeur tout juste supérieure au seuil de détection. Le traceur n'est pas détecté à l'aven de Fontenille (situé au sud-ouest de Chandolas).

- Event des Cascades => Event des Cascades

Serret : le 21/12/2008, injection de fluorescéine à l'événement des Cascades qui met en relation les deux orifices après quelques minutes.

- Siphon S1 du Tirbirou => aven du Ranc Belu

Serret : le 3/04/2010, injection de fluorescéine dans le siphon S1 du Tirbirou qui colore en quelques minutes l'aven du Ranc Belu.

- Perte des Raoux => Puits Pelouse

Serret, date inconnue : injection dans la perte des Raoux, coloration de puits Pelouse.

- Event des Cascades => Tirbirou

Poulin, 2014 : le 19/03/2014 à 13h10, injection de 200g de fluorescéine à l'Event des Cascades, pic de fluorescéine enregistré au fluorimètre dans le siphon actif de Tirbirou le 23/03/2014 à 7h50 avec une concentration maxi faible (0,5 ppb), vitesse apparente de 14m/h, restitution estimée de 7g soit 3%! Conclusion le Tirbirou n'est pas l'exutoire principal de l'Event des Cascades.

- Reinette => Puits Pelouse et Ranc d'Avene

Poulin, 2014 : le 19/03/2014, injection de 1kg de sel (NaCl) dans le siphon aval de la Reinette Puits Pelouse, petit pic de conductivité de 6 µS/cm enregistré, possible passage du sel à 12 m/h sans pouvoir l'affirmer mais habituellement une crue s'accompagne d'un pic négatif de conductivité.

Source de Ranc d'Avene, double pic de conductivité de 30 µS/cm avec vitesse apparente calculée de 5 m/h.

- Reinette => Ranc d'Avene

Jolivet et Van Den Broeck, 2015 : en septembre 2015, injection de 1kg de fluorescéine dans le siphon amont et 300g de fluorescéine dans le siphon aval de la Reinette, courbe de restitution avec double pic enregistrée à la source du Ranc d'Avene.

Voici ci-après un tableau de bilan des différents traçages et des données connues :

Etude d'identification et préservation des ressources souterraines stratégiques pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche – Phase 1.

Tableau récapitulatif des traçages effectués dans l'entité				
Injection	Réapparition	Quantité de traceur	Temps de restitution	Vitesse de transfert
Réméjadou	Bourbouillet	400g (fluorescéine)	12h	70 m/h
Perte du ruisseau du bois de la Blachère	Résurgence de la Blachère	80-100g (fluorescéine)		
Pertes du Chassezac à Maisonneuve	Source de Chamrousset	3 kg (fluorescéine)		
	Ruisseau des Fontaines			
Event des Cascades	Event des Cascades (2ème orifice)	(fluorescéine)		
Siphon S1 du Tirbirou	Aven du Ranc Belu	(fluorescéine)		
Perte des Raoux	Puits Pelouse			
Event des Cascades	Tirbirou (3% de restitution)	200g (fluorescéine)	90h40	14 m/h
Reinette	Puits Pelouse	1 kg (NaCl)		12 m/h (pas affirmé)
	Ranc d'Avene			5 m/h
Reinette (Siphon amont et aval)	Ranc d'Avene	1,3 kg (fluorescéine)		

**Tableau 13 : récapitulatif des traçages effectués dans l'unité St-Alban**

### 2.6.3. Appréciation du potentiel quantitatif

Sur l'unité St-Alban, plusieurs captages AEP d'importance sont présents, il s'agit :

- du **puits des Fontaines** à Saint-Alban-Auriolles : l'ouvrage capte la nappe alluviale alimentée ici par les venues karstiques sous-jacentes ; débit exploitable de 110 m<sup>3</sup>/h
- des **puits du champ captant de la Gorce**: 3 puits exploitent sur Grospierres la nappe alluviale et disposent d'une capacité totale de 105 m<sup>3</sup>/h.
- des **deux forages de Gerbial** à Saint-Alban-Auriolles : les forages exploitent l'aquifère karstique, l'un par l'intermédiaire des alluvions, l'autre grâce à un conduit recoupé à 70 m de profondeur. Les deux forages ont été testés à 200 m<sup>3</sup>/h en simultanément pour un rabattement spécifique de 52 et 110 m<sup>3</sup>/h/m (respectivement forages FG1 et FG2).

Les pompes d'essai ont permis d'affirmer qu'il existe d'importantes circulations souterraines au sein des calcaires jurassiques sous la terrasse alluviale de Saint Alban. La zone noyée reste à prouver, ainsi que les parts respectives d'alimentation depuis la nappe alluviale d'accompagnement, le karst de Saint Alban et depuis les pertes du Chassezac à Maisonneuve.

Voici les données de débit connues pour les sources présentes sur l'unité St-Alban :

Nature des points d'eau	Site	Date	Débit (m3/h)	Débit (l/s)	Situation hydrologique	Source
Cours d'eau superficiels	Ruisseau des Fontaines	11/08/2010	1676,16	465,6	Etiage	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2010
		19/07/2012	2070	575	Etiage	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2012
Sources du plateau calcaire de St-Alban	Bourbouillet	04/02/2014	3078	855	Hautes eaux après la recharge hivernale 2014 importante	Université de Montpellier
	Resurgence de la Digue		54	15		
	Creux de Bouchard		97,2	27		
	Fontgraze		363,6	101		
	La Douce		453,6	126		
	Fontaine Pelouse		2066,4	574		
Ranc Rouge	514,8	143				

**Tableau 14 : les débits des sources et résurgences importantes de l'unité St-Alban**

En matière de potentiel quantitatif et hormis sur le site de Gerbial, l'unité St-Alban est marquée par :

- le système Réméjadou – Bourbouillet (rivière souterraine pérenne),
- les sources du Ranc d'Avène (dont des sorties pérennes sous le lit du Chassezac),
- et les importantes résurgences de Chamrousset, qui donnent naissance au ruisseau des Fontaines.

Le secteur de la source du Ranc d'Avène semble prometteur, mais des investigations complémentaires restent à mener.

#### 2.6.4. Echanges nappe/rivière

Dans ce secteur, il faut noter qu'historiquement le Chassezac séchait en amont de Maisonneuve et se remettait en eau au niveau du village de Saint-Alban. Le ruisseau des Fontaines est la zone de résurgence d'une part importante des circulations karstiques. Ceci a été étudié à la fin des années 1980. Depuis, le débit du Chassezac est soutenu en période estivale grâce au barrage de Puylaurent.

Les débits très importants des sources dans le secteur des Fontaines à Saint-Alban-Auriolles ont été attribués aux pertes du Chassezac depuis l'étude de la fin des années 1980. Cependant les résultats de ce traçage ne permettent pas de quantifier un éventuel apport du karst de Saint Alban, le suivi ayant été fait par fluocapteurs avec une seule dose positive de concentration très faible.

Il a été établi lors des pompages d'essai effectués sur les deux forages de Gerbial [13, 14] que l'aquifère karstique exploité par ces forages avait pour exutoire naturel un grand nombre de sources dans le secteur des Fontaines drainé par le ruisseau éponyme et le Chassezac (sources en rive droite et rive gauche).

Les spéléologues ont également noté à plusieurs reprises l'influence du régime hydrologique de la Beaume en période de crue sur le débit de la source de Font la Douce. Cette information est précieuse mais elle reste à démontrer par des mesures plus précises.

Il faut également retenir les investigations menées par l'Université de Montpellier et notamment les analyses isotopiques du Strontium qui ont conclu à un échange rivière/karst et karst/rivière pour le Chassezac à hauteur de 21% et pour la Beaume à hauteur de 9%. Voici les résultats graphiques de ces analyses.

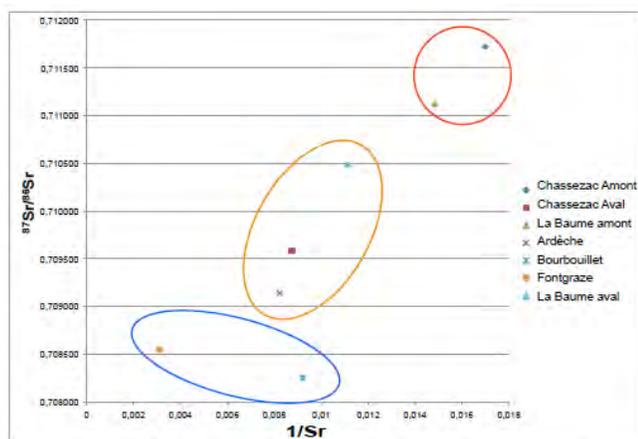


Figure 27a : résultats de l'analyse isotopique du Strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en fonction de  $1/\text{Sr}$

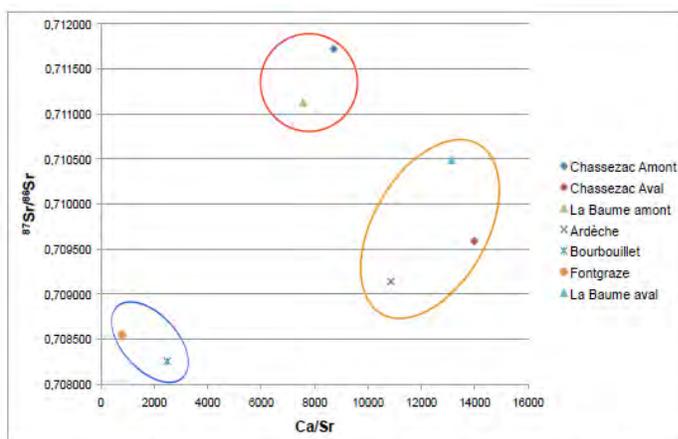


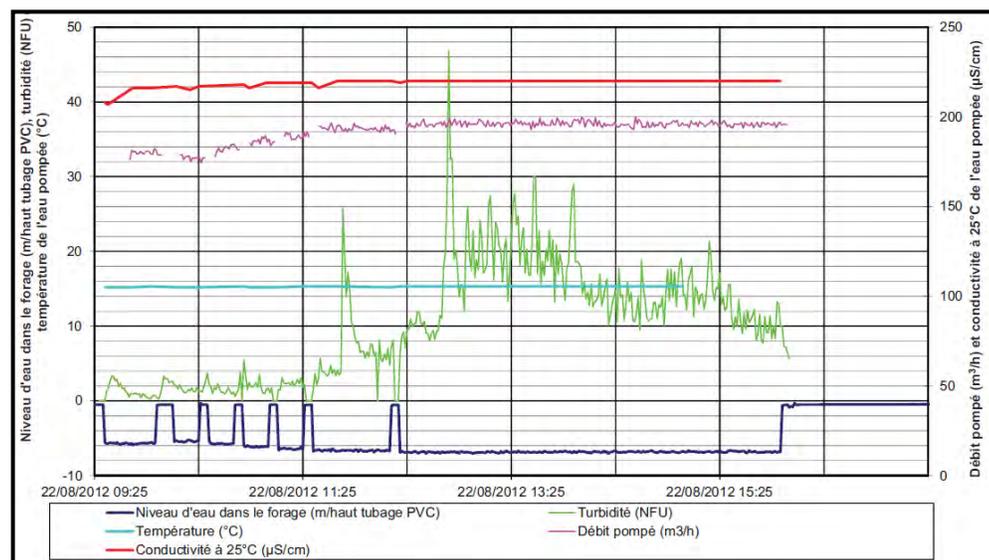
Figure 27b : résultats de l'analyse isotopique du Strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en fonction de  $\text{Ca}/\text{Sr}$

**Figure 49 : résultats graphiques des analyses isotopiques des sources et cours d'eau sur le secteur St-Alban (Université de Montpellier - 2014)**

### 2.6.5. Qualité des eaux

Les ressources karstiques sont sujettes à des problèmes de qualité des eaux dus à la faible filtration naturelle et à la grande vitesse de transfert. Sur le site de production de Gerbial (SEBA), cette vulnérabilité a été mise en évidence dans les analyses d'eau pratiquées sur les ouvrages ayant une relation avec le karst et plus particulièrement au niveau des forages. On remarque notamment la présence de **contaminants bactériologiques**. Par ailleurs, **la turbidité est également l'un des marqueurs caractéristiques du karst**.

Les pompages d'essai sur les forages de Gerbial ont également mis en évidence les problèmes de turbidité qu'ils soient naturellement liés au karst ou artificiellement accentués lors des pompages (par augmentation de la vitesse de circulation dans les conduits karstiques). La figure suivante présente un extrait du rapport RABIN de pompage d'essai pratiqué dans le forage FG1 de Gerbial (SEBA) au cours duquel quelques paramètres ont été suivis (conductivité, température et turbidité).



**Figure 50 : Suivi de la conductivité, de la température et de la turbidité lors des paliers de débit dans le forage FG1 de Gerbial (RABIN ; 2012)**

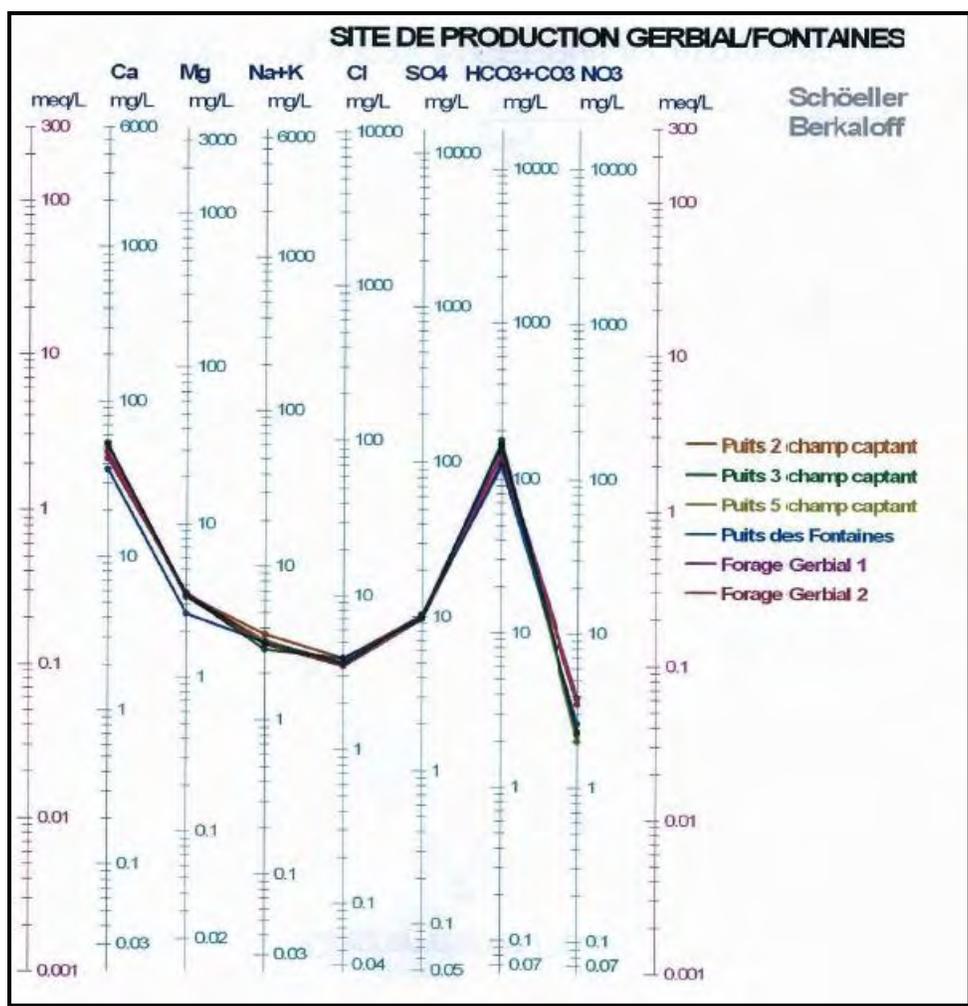
On note que la turbidité peut être importante par moment et que celle-ci devient très largement significative dès lors que l'on augmente le débit de pompage. Nous retiendrons tout de même le bilan effectué suite à ce pompage d'essai

En terme de turbidité les résultats sont les suivants pour la fin du pompage longue durée du 08/08 au 21/08 pour le FG1 et du 26/07 au 21/08 pour le FG2 :

- FG1 = 0,71 NFU
- FG2 = 0,43 NFU

La turbidité répond donc aux exigences de qualité après plusieurs heures de pompage en continu à environ 176 m<sup>3</sup>/h sur le FG1 et 197 m<sup>3</sup>/h sur le FG2. Cependant des problèmes de relargages sont connus sur ces ouvrages (cf. § 3.2 Evolution de la qualité de l'eau pompée, partie turbidité) et la mise en place d'un traitement turbidité s'avère indispensable.

Nous disposons également d'informations sur les caractéristiques physico-chimiques des ouvrages exploités par le SEBA à Saint-Alban-Auriolles, ces données sont présentées ci-après.



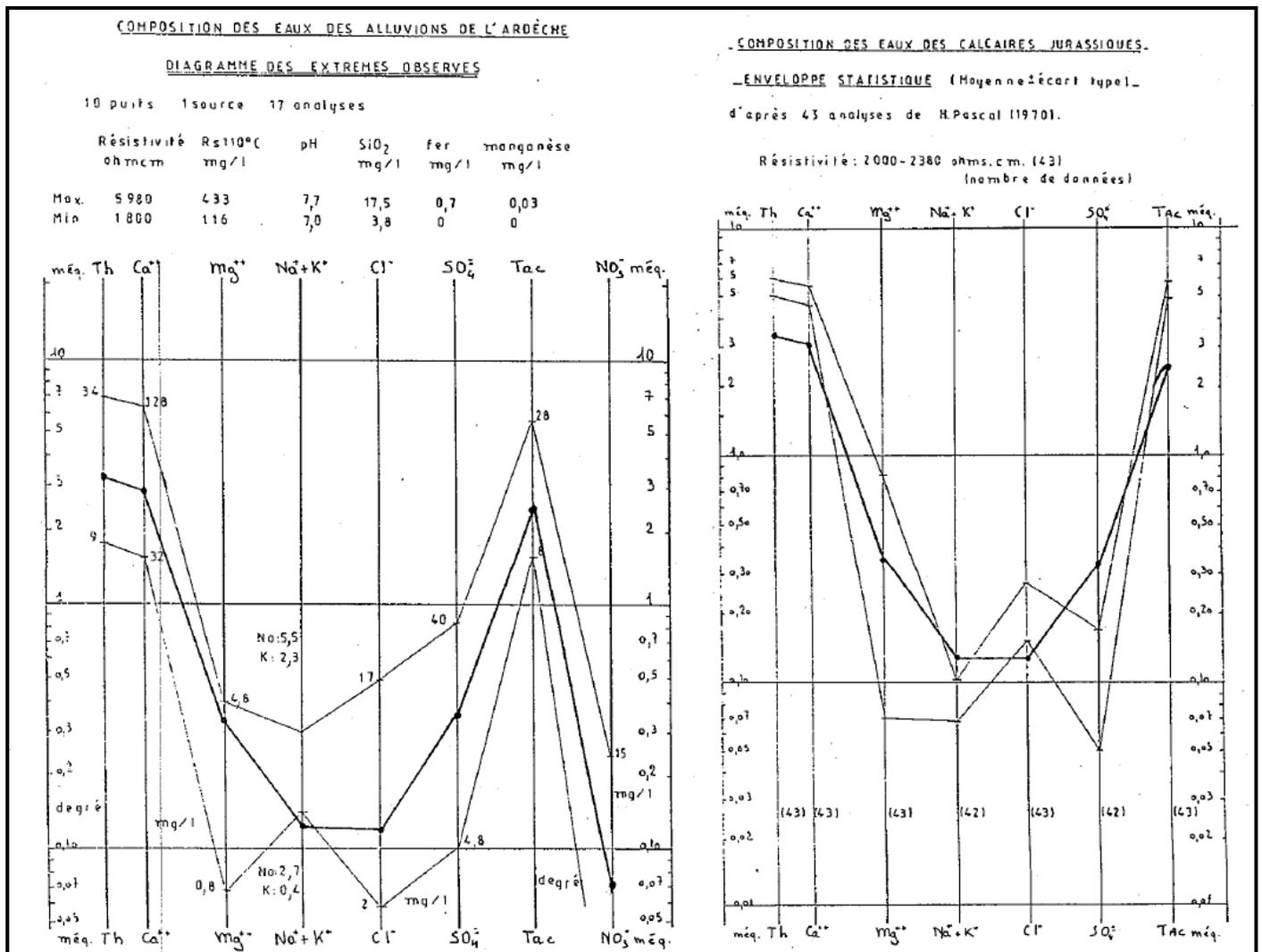
**Figure 51 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff à partir des eaux des captages du SEBA sur le site de Gerbial/les Fontaines (RABIN, 2010)**

Etude d'identification et préservation des ressources souterraines stratégiques pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche – Phase 1.

On remarque bien que l'ensemble des eaux captées par les ouvrages du SEBA à St-Alban disposent d'une composition physico-chimique identique alors même qu'ils sont censés ne pas exploiter le même aquifère :

- les puits du champ captant et le puits des Fontaines exploitent la nappe alluviale du Chassezac soutenue par le karst en charge dans le secteur
- et les forages de Gerbial exploitent le karst, soit directement via un conduit karstique (FG1) soit à travers les alluvions où le karst en charge rémerge à proximité des ouvrages (FG2).

Cette observation avait déjà été faite en 1993 par G. NAUD. Nous présenterons ci-après un extrait de son rapport géologique pour la délimitation des périmètres de protection du forage des Fontaines[15].

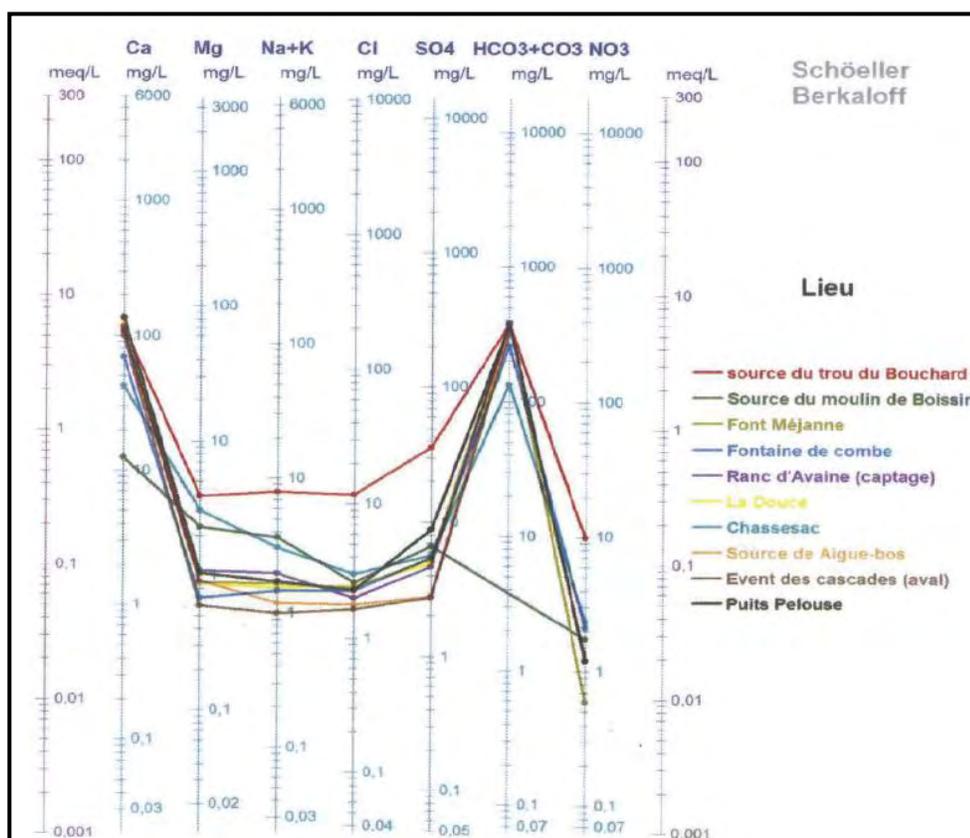


**Figure 52 : Composition chimique de l'eau du forage des Fontaines en comparaison avec celles observées dans les eaux issues des calcaires jurassiques et celles issues des alluvions de l'Ardèche (G. NAUD, 1993)**

Ces deux diagrammes mettent également en évidence que l'eau du « forage des Fontaines » (ancien nom donné pour nommer le forage FG1 ?) se rapproche plus des caractéristiques physico-chimiques des eaux issues des alluvions de l'Ardèche que de celles issues des calcaires jurassiques. Ce dernier expliquait simplement que les eaux captées par le forage étaient issues des pertes du Chassezac et par conséquent qu'elles provenaient du bassin versant du Chassezac dont l'extrémité du bassin est dominé par les terrains cristallophylliens.

Au vu des résultats du traçage depuis les pertes de Maisonneuve jusqu'au ruisseau des Fontaines (1 fluocapteur positif à très faible dose), il est bien possible qu'une grande partie des eaux captées à Gerbail proviennent des pertes du Chassezac mais les résultats du traçage restent peu fiables malgré la grande probabilité pour que cette relation existe.

Concernant la composition chimique des eaux en provenance du plateau calcaire de l'unité St-Alban, l'Université de Montpellier a effectué depuis 2012 de nombreuses investigations sur ce secteur, y compris des analyses d'eau sur différentes sources. Voici les résultats obtenus :



**Figure 53 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff des paramètres physico-chimiques majeurs sur quelques sources issues du plateau calcaire au sein de l'unité St-Alban (POULIN, 2013)**

Globalement ces eaux restent de compositions physico-chimiques proches (hormis pour la source du trou du Bouchard qui se situe dans un contexte géologique particulier), correspondant à des eaux bicarbonatées-calciques. On notera également que l'Université de Montpellier a effectué des analyses d'éléments traces sur ces mêmes points d'eau (Fe, As, Zn, Mn...)[10].

Etude d'identification et préservation des ressources souterraines stratégiques pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche – Phase 1.

De plus, nous avons effectué quelques mesures de conductivité et températures lors de nos visites de terrain sur le secteur. Voici un bilan des mesures ainsi que la synthèse de mesures existantes sur le secteur pour ces paramètres :

Nature des points d'eau	Site	Date	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Température °C	Source
AEP	Forage F1 Gerbial	16/08/2010	221	15	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2010
		21/08/2012	217	15,1	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2012
	Forage F2 Gerbial	17/08/2010	212	15,5	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2010
		21/08/2012	202	15,9	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2012
	Puits Fontaines	12/08/2010	222	15	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2010
	Puits P2 Champs de la Gorce	31/08/2010	260	14,6	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2010
	Puits P3 Champs de la Gorce	07/08/2010	300	13,2	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2010
Puits P5 Champs de la Gorce	31/08/2010	310	14	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2010	
Cours d'eau superficiels	Ruisseau des Fontaines	06/08/2010	230	15	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2010
		21/08/2012	208	15,4	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2012
		21/01/2016	285	13,2	Visite de terrain (AERMC, SMAC, RABIN, CDS07)
	Chassezac	16/08/2010	215	17,5	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2010
		21/08/2012	213	21,5	Etudes hydrogéologiques, RABIN, 2012
		21/01/2016	71,9	5,6	Visite de terrain (AERMC, SMAC, RABIN, CDS07)
	Beaume	21/01/2016	70	5,4	Visite de terrain (AERMC, SMAC, RABIN, CDS07)
18/02/2015		105,5	6,3	Visite de terrain (RABIN)	
Sources du plateau calcaire	Font la Douce	21/01/2016	545	13,1	Visite de terrain (AERMC, SMAC, RABIN, CDS07)
	Bourbouillet	21/01/2016	568	13,3	Visite de terrain (AERMC, SMAC, RABIN, CDS07)
	Source du Ranc d'Avène	21/01/2016	483	13,2	Visite de terrain (AERMC, SMAC, RABIN, CDS07)

**Tableau 15 : bilan des conductivités mesurées sur les ouvrages AEP du SEBA en comparaison avec les conductivités des eaux superficielles et des eaux de sources du plateau calcaire (RABIN, 2016)**

On remarque d'abord que les conductivités des ouvrages AEP du SEBA et les conductivités du ruisseau des Fontaines restent proches (environ 200-300 µS/cm). Deux pôles opposés se dessinent avec des conductivités clairement différentes des premières :

- les sources issues du karst de Saint Alban avec des conductivités de l'ordre de 500-600 µS/cm
- et la Beaume (70-100 µS/cm) ; même ordre de grandeur pour le Chassezac l'hiver. Attention, l'eau du Chassezac possède une minéralisation différente suivant les conditions hydrologiques notamment par l'influence des lâchers EDF.

Sur la base des conductivités intermédiaires, la ressource exploitée par les captages du SEBA a une position complexe entre ces deux pôles, il pourrait s'agir de :

- un début de minéralisation carbonatée des eaux du Chassezac qui pénètrent dans le karst au niveau des pertes de Maisonneuve ; ceci n'est toutefois possible que si le transfert entre les pertes et St Alban est lent, ce qui ne correspond pas aux résultats contestables du traçage de 1988
- une alimentation mixte à partir de ces deux pôles : le Chassezac (pertes et/ou alluvial) et des eaux issues du karst de St Alban, ce qui nécessiterait des potentialités importantes de la ressource karstique locale.

Le multi-traçage projeté sur cette unité karstique doit permettre de conclure sur le karst de St Alban.

Nous pouvons compléter avec le tableau suivant pour les sources d'origine calcaire :

Paramètres	Sources	Min	Max	Moy
Hauteur d'eau en cm	Fontgraze	0	79.65	38.83
	Ranc d'aven	0	178.1	77.34
	Fontaine pelouse	0	762.50	331.57
	Bourbouillet	0	59.80	15.14
	Creux de Bouchart	0	101.38	3.64
Température en °C	Fontgraze	10.7	16.3	13.9
	Ranc d'aven	9.5	16.2	13.5
	Fontaine pelouse	12.2	16.9	13.7
	Bourbouillet	9.9	16.9	13.1
	Creux de Bouchart	9	16	13.7
Conductivité en $\mu\text{S cm}^{-1}$	Fontgraze	310	633	538
	Ranc d'aven	310	577	479
	Fontaine pelouse	160	563	260
	Bourbouillet	360	611	525
	Creux de Bouchart	250	570	371

**Tableau 16 : bilan des sondes CTD installées sur les sources suivies par l'Université de Montpellier au sein de l'unité St-Alban (POULIN, 2014)**

#### 2.6.6. Vulnérabilité intrinsèque /Occupation des sols/Pressions

On considère une vulnérabilité moyenne à très élevée pour ce qui concerne le karst de Saint-Alban notamment dû au fait que la circulation au sein de l'aquifère est rapide en certains points. Si l'interconnexion entre les conduits karstiques et les alluvions du Chassezac est démontrée le long du cours d'eau entre Maisonneuve et Saint-Alban Auriolles, la faculté de filtration naturelle des alluvions permettant d'améliorer la qualité bactériologique de l'aquifère, pourrait diminuer la vulnérabilité de l'aquifère ou d'une partie de celui-ci.

L'occupation du sol est très variée dans cette unité (Tableau 17 et Figure 54) et se compose essentiellement de végétation sclérophylle, pelouses et pâturages, forêt de feuillus et végétation arbustive en mutation. Le long du Chassezac, on retrouve les surfaces agricoles, vignobles, vergers et petits fruits et terres arables hors périmètres d'irrigation. Par ailleurs, on note la présence de quelques tissus urbains discontinus pour les villages de Saint-Alban Auriolles, Chandolas et le hameau de Maisonneuve.

Il existe 2 installations ICPE en fonctionnement au sein de notre unité :

- **l'entreprise « VANSEENNE DE CARRIERE – SVC TP » à Les Assions** enregistrée sous « Carrières (exploitation de) à hauteur de 150000 T/an » ;
- **l'entreprise « FOREZIENNE D'ENTREPRISES » à Chandolas** enregistrée sous « Carrières (exploitation de) à hauteur de 200000 T/an » ; « Broyage, concassage, ...et autres produits minéraux ou déchets non dangereux inertes »

Il n'existe aucun site répertorié dans les bases de données BASIAS ou BASOL au sein de cette unité.

A noter l'ancienne décharge communale de Lablachère à côté de Notre Dame de Bon Secours.

Type d'occupation des sols	Surface (km <sup>2</sup> )	% surface
112 : Tissu urbain discontinu	0,998	1,64%
211 : Terres arables hors périmètres d'irrigation	1,445	2,37%
221 : Vignobles	2,049	3,36%
222 : Vergers et petits fruits	0,392	0,64%
242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes	5,194	8,52%
243 : Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	3,346	5,49%
311 : Forêts de feuillus	12,659	<b>20,77%</b>
321 : Pelouses et pâturages naturels	13,611	<b>22,33%</b>
323 : Végétation sclérophylle	12,481	<b>20,48%</b>
324 : Forêt et végétation arbustive en mutation	8,780	<b>14,40%</b>
	<b>60,955</b>	<b>100,00%</b>

***Tableau 17 : répartition de l'occupation des sols sur l'unité Saint-Alban-Auriolles***

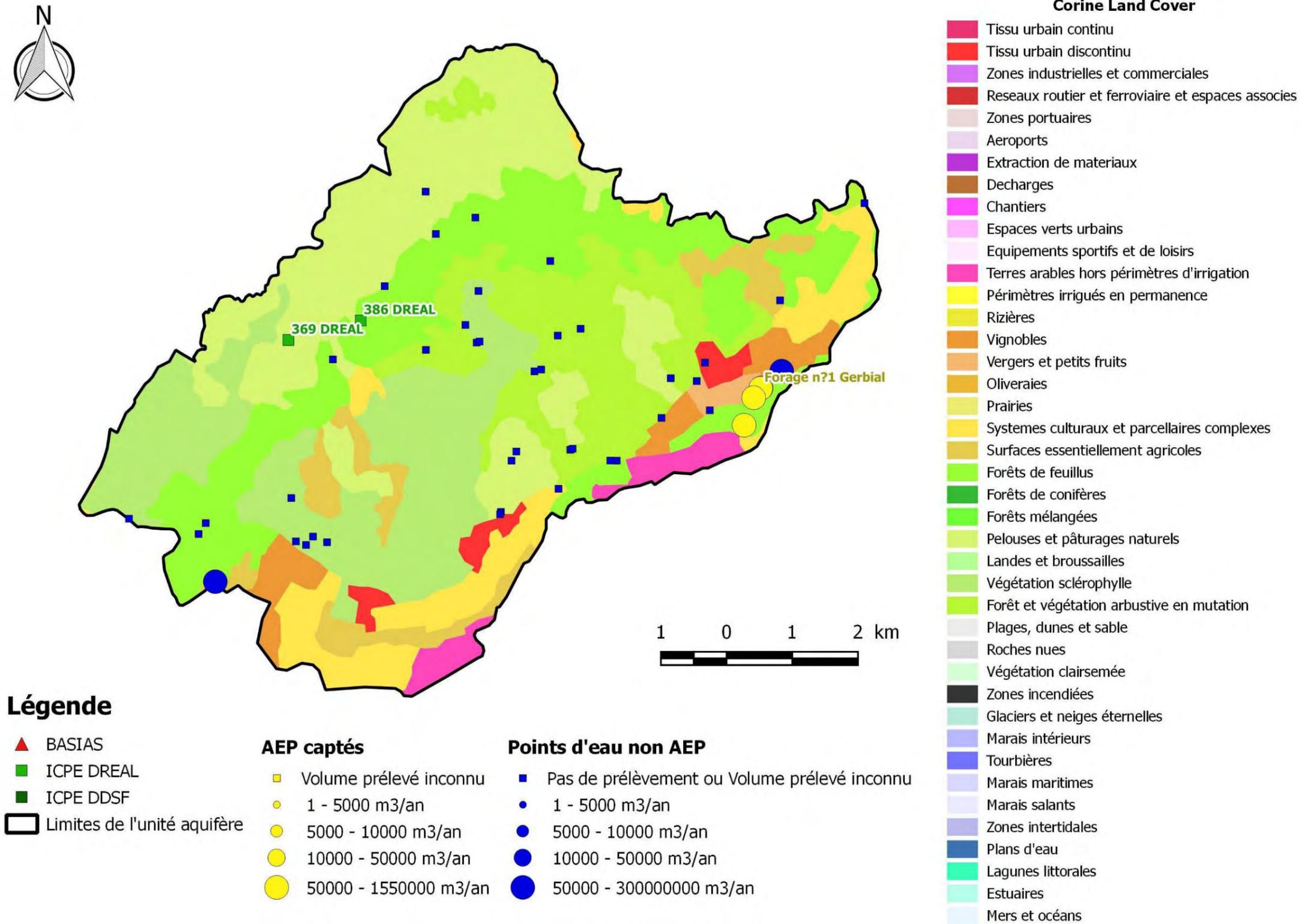


Figure 54 : occupation des sols, prélèvements et pressions industrielles sur l'unité karstique Saint Alban Auriolles (Corine Land Cover)

## 2.7. L'unité Sud Chassezac

### 2.7.1. Présentation et délimitation de l'unité

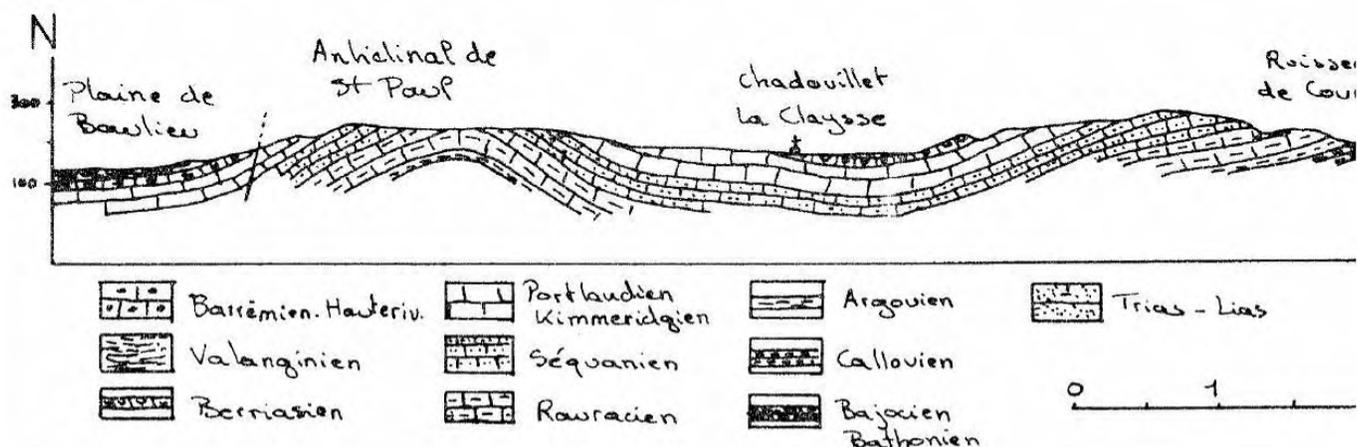
Le système englobe les calcaires jurassiques du secteur de Naves, des Vans, de Berrias et au sud de Beaulieu. Pour l'extrémité sud, la phase pyrénéo-provençale a eu un rôle important, car les structures sont fortement plissées : synclinal de Saint André de Cruzières, anticlinal faillé de Saint Paul le Jeune, plaine de Berrias - Beaulieu en léger synclinal.

L'unité aquifère « Sud Chassezac » est limitée :

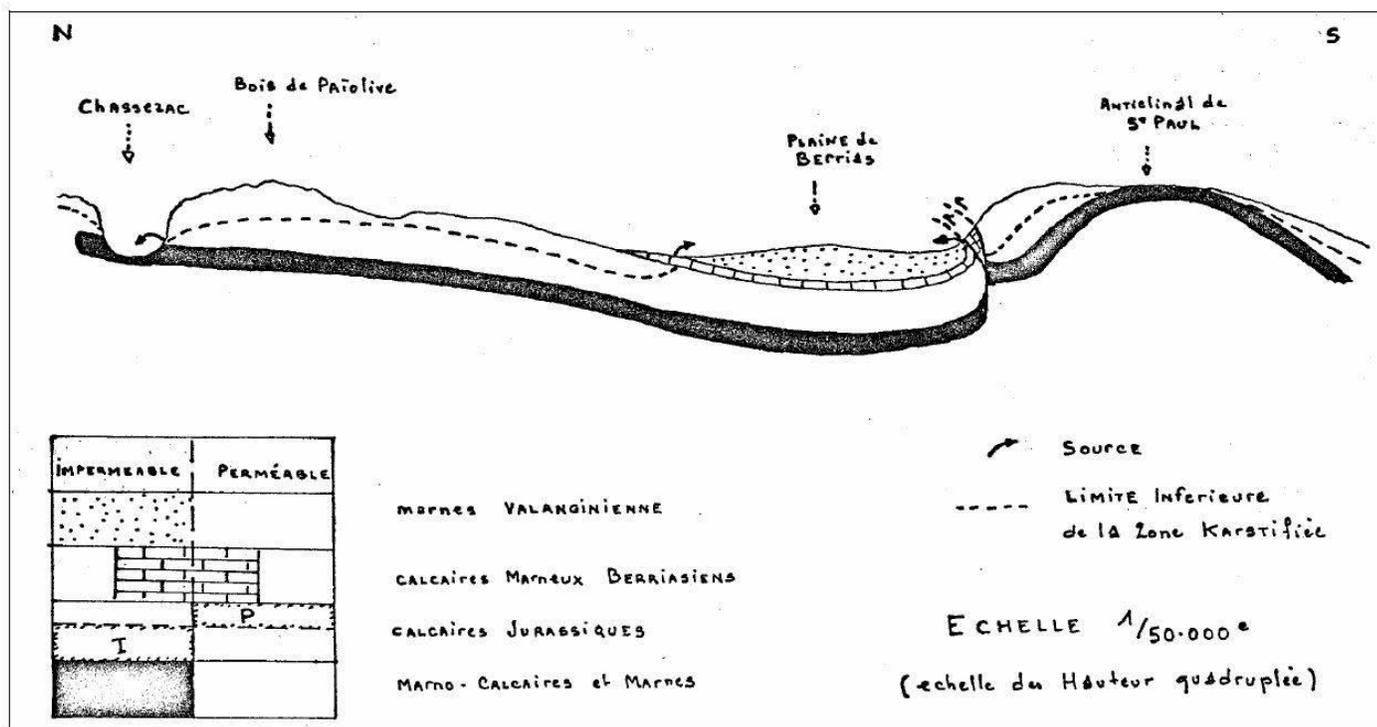
- Au nord par la limite d'affleurement Trias – Jurassique sur une ligne Naves – les Vans.
- A l'ouest par la faille de Banne Villefort de direction nord-ouest / sud-est qui met en contact les horizons jurassiques avec le socle et le bassin houlier.
- Au sud par la crête correspondant à l'axe de l'anticlinal de Saint Paul
- A l'est par la limite de la plaine de Berrias – Beaulieu occupée par les marnes du Valanginien (n<sub>2</sub>) et le complexe faillé des Divols.
- Au nord-est, par les gorges du Chassezac.

Il s'agit du karst compris entre Naves, les Vans, la vallée du Chassezac et l'anticlinal de St-Paul-le-Jeune.

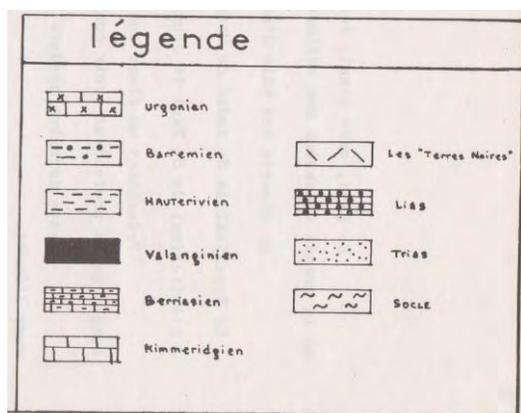
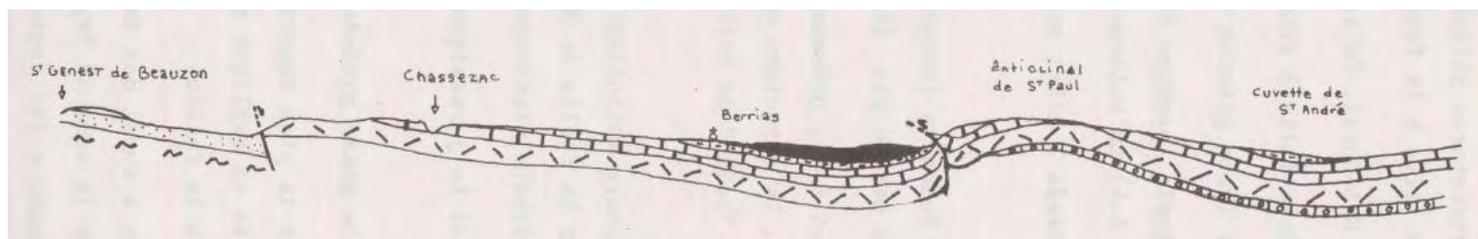
A noter que le synclinal de St André de Cruzières n'est pas compris dans notre secteur d'étude, puisqu'il est en dehors du bassin d'alimentation de l'Ardèche. La limite sud de l'unité aquifère « Sud Chassezac » a été fixée au cœur de l'anticlinal de Saint Paul. Les terres noires calloviennes affleurantes dans le cœur de l'anticlinal de Saint Paul devraient a priori empêcher tout lien hydrogéologique entre l'aquifère jurassique puissant du synclinal de Saint André et le flanc nord de l'anticlinal [16].



**Figure 55 : coupe géologique MB' à travers le synclinal de St André de Cruzières (source inconnue)**



**Figure 56 : coupe géologique M-A' de l'anticlinel de St Paul le Jeune (Pascal, 1970)**



**Figure 57 : coupe géologique M-D' de la plaine de Berrias et de l'anticlinel de St Paul (Pascal, 1970)**

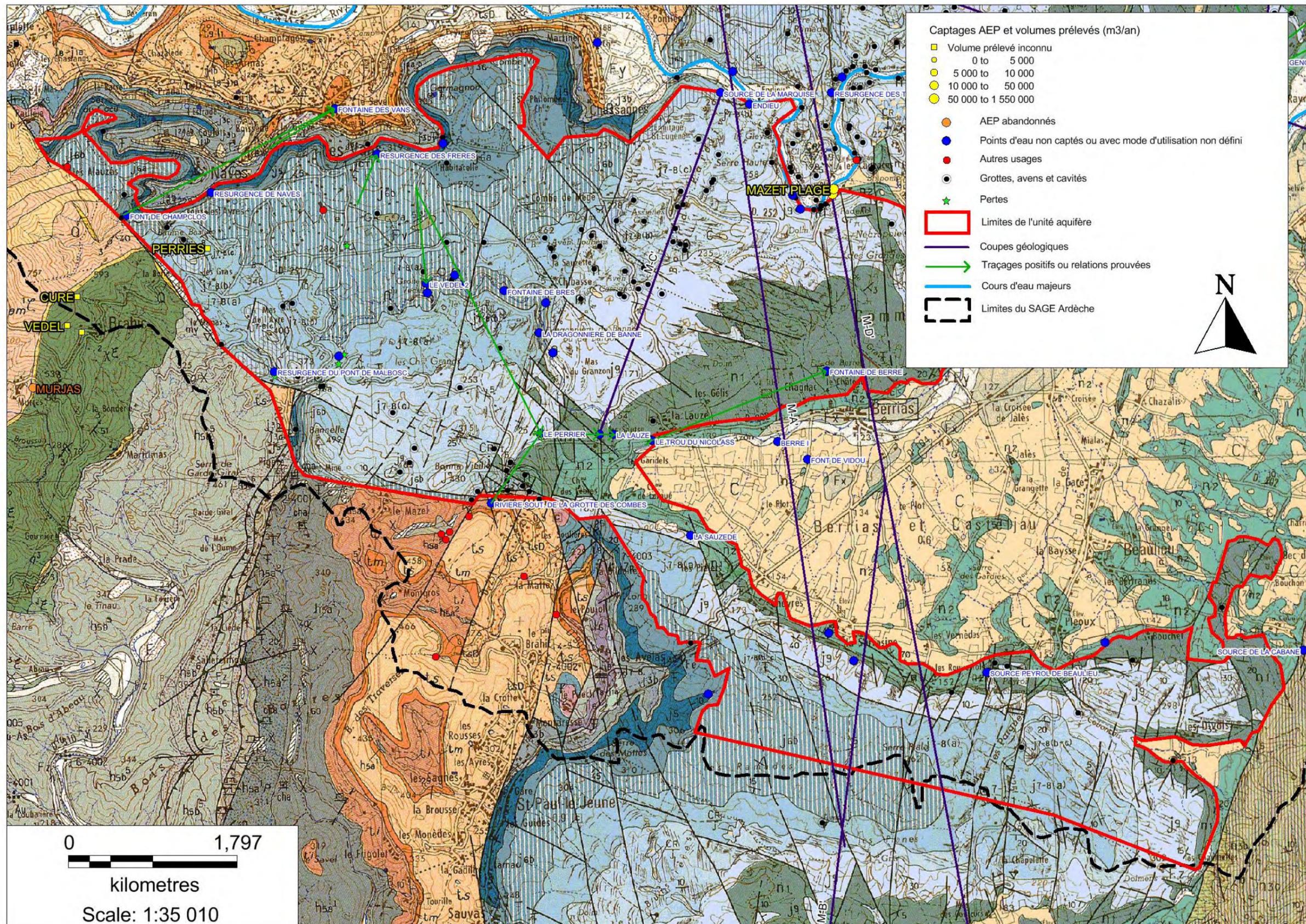


Figure 58 : limites de l'unité karstique Sud Chassezac sur fond géologique

## 2.7.2. Hydrogéologie

### 2.7.2.1. Recharge naturelle, aire d'alimentation et exutoires

L'unité aquifère « Sud Chassezac » englobe en réalité plusieurs karsts jurassiques :

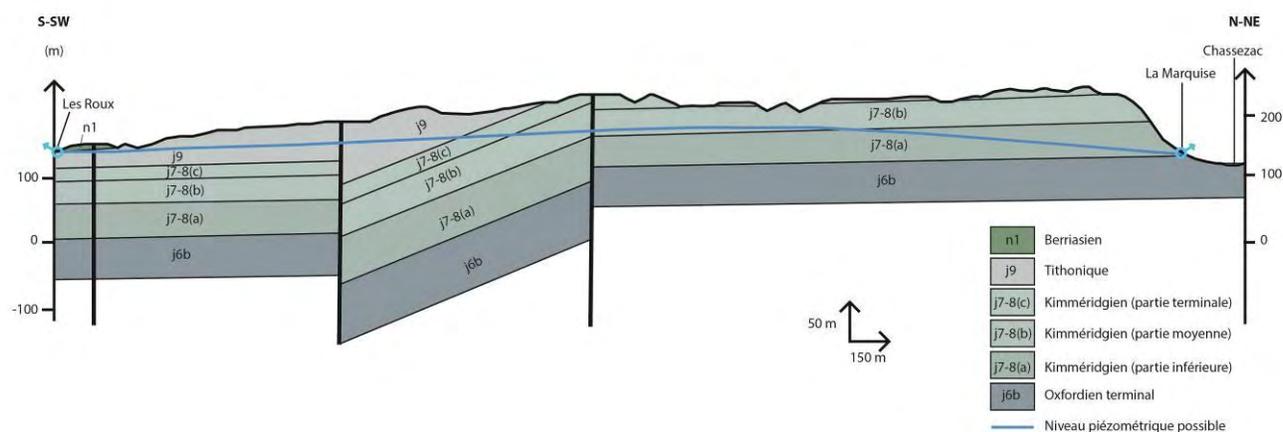
#### Le karst de Naves

Les Alauzas et le Serre du Cocu sont en fait un petit causse à séries jurassiques horizontales limité à l'ouest par la faille de Banne Villefort. Un petit karst de faible extension donne naissance à une seule émergence notable, la Font de Champclos.

#### Le karst de Vans

Les Gras des Vans et le Bois de Païolive sont beaucoup plus étendus et les calcaires jurassiques à l'affleurement ont un faible pendage vers le sud et plongent sous les horizons berriasiens avant Berrias. Quelques circulations temporaires localisées marquent la partie nord alors que le massif est marqué par la vallée du Granzon qui provient des affleurements paléozoïques. Ce ruisseau se perd totalement dans la partie amont pour alimenter une rivière souterraine pérenne en relation avec la Fontaine du Vedel. Plus à l'aval le ruisseau du Granzon redevient permanent et semble être le niveau de base local au cœur du massif calcaire ; il draine des sources au faible débit d'étiage (Fontaine de Boissin, Dragonnière de Banne) [16]. La direction d'écoulement général dans le karst jurassique est plutôt nord – sud vers la résurgence du Perrier, mais les écoulements souterrains se poursuivent vers l'est selon un axe Perrier – source de la Lauze – Trou du Nicolass - Fontaine de Berre. Cette dernière source émerge dans les calcaires berriasiens au nord de Berrias.

Cet ensemble karstique est aussi limité au nord-est par les gorges du Chassezac qui incisent les calcaires jurassiques ; la source de la Marquise est la plus importante des résurgences de ce secteur rive gauche du Chassezac. Son bassin d'alimentation est difficile à préciser, l'émergence étant masquée par un éboulis.



**Figure 59 : coupe géologique M-C' sous le Bois de Païolive (Rabin, 2016)**

#### Le flanc nord de l'anticlinal de Saint Paul

A noter que le synclinal de St André de Cruzières n'est pas compris dans notre secteur d'étude. Il est occupé par des calcaires jurassiques très karstifiés (réseau de la Cocalière) et les réserves sont estimées à 8 millions de m<sup>3</sup> sur la base d'une épaisseur de 200m de calcaires noyés [17], en lien avec le Peyrol du Moulin, source pérenne. Un forage situé sur le flanc nord de l'anticlinal a traversé au moins 60m de calcaires tithoniques et kimméridgiens avant perte du matériel entre 60 et 180m de profondeur. Cependant, l'Oxfordien moyen et supérieur sont composés de calcaires karstifiables (perte de la Clysse), il est donc raisonnable de placer une limite inférieure de karstification aux alentours de -100 à -120m (Clerc, 2009). A priori les terres noires calloviennes affleurantes au cœur de l'anticlinal de Saint Paul scindent cette structure plissée en deux entités hydrogéologiques et empêchent toute relation entre le flanc nord de l'anticlinal et la partie sud du karst jurassique.

Le flanc nord de l'anticlinal est marqué par des pendages de 20 à 30° vers le nord, un relief accidenté et des résurgences temporaires dénommées Peyrol (ou grand chaudron) à cause de leur forme : de larges trous d'un diamètre supérieure à 10m avec des venues d'eau ascendantes, qui sont des trop-pleins en crue[16]. La principale source est le Peyrol des Rouveyrols, temporaire, mais avec des débits de crue de 6 m<sup>3</sup>/s. Il se vidange totalement à l'étiage, montrant une baisse de plus de 20m. A noter que le Peyrol des Rouveyrols agirait indépendamment des autres et aurait son propre bassin d'alimentation. Ce dernier serait restreint et ne s'étendrait probablement pas plus au Sud que l'axe du pli[18]. Toutefois, il se pourrait qu'il soit connecté avec le système de Saint-André de Cruzières pour lequel il agirait comme trop-plein lors d'évènements pluvieux important.

La plaine de Berrias-Beaulieu correspond à une dépression de marnes valanginiennes en léger synclinal. Pascal [7] estime que les calcaires jurassiques s'enfonçant sous les marnes ne sont pas karstifiés.

#### **Connaissance du réseau karstique**

Il s'agit du secteur constitué par des affleurements jurassiques, au sud de la vallée du Chassezac.

A l'ouest de ce secteur, on trouve la Fontaine de Champclos qui s'ouvre dans la vallée du Bourdaric et s'étend jusqu'à la limite des calcaires au niveau du hameau des Alauzas. Cette cavité est le siège d'un écoulement permanent d'environ 1 l/s à l'étiage. Les potentiels de ces secteurs sont limités par leur situation perchée et des limites géologiques restreintes.

On trouve ensuite le secteur du Bois de Païolive. L'ensemble des pertes et la fontaine du Vedel développe 3 km et on y observe un débit à l'étiage de l'ordre du litre/seconde. Ce réseau spéléologique comprend plusieurs siphons, mais de faible profondeur ou développement.

Plus à l'aval dans la vallée du Granzon, en rive gauche, on trouve quelques sources de faible débit (inférieur au litre/seconde à l'étiage). La plus importante est la Fontaine de Boissin reconnue sur environ 800 mètres, avec plusieurs siphons de faible profondeur et de faible développement. En rive droite se développe la Dragonnière de Banne sur 2 km en direction du Bannelle. Cette cavité a un profil horizontal avec une dizaine de siphons dont le plus important développe 360 mètres et atteint au fond la côte de 153 m NGF.

Plus au sud, on trouve la grotte des Combes qui est une perte active et permanente du ruisseau des Combes qui prend sa source sur des affleurements du Trias. Un traçage hydrologique (1966) indique un passage à la résurgence du Perrier (trop-plein) et une sortie à la Fontaine de Berre, source impénétrable qui s'ouvre dans le Berriasien. Il y a peut-être ici, sous la couverture du Berriasien, un potentiel de réservoir karstique.

En rive droite, à l'entrée des Gorges du Chassezac, on trouve la source de la Marquise qui est de loin la source la plus importante (2 l/s à l'étiage et proche de 1m<sup>3</sup>/seconde en crue) mais impénétrable en raison d'un éboulis qui masque aussi la présence de formation karstique. On trouve ensuite les sources de la Padelle et du Téron.

Au sud, se situe la retombée du synclinal de Saint André de Cruzières où l'on peut observer, à proximité du hameau du Pléoux, une zone de résurgence importante en haute eau. La principale, le Peyrol de Beaulieu peut déverser plusieurs m<sup>3</sup>/seconde en crue. A l'étiage, il n'y a pas d'écoulement et le niveau de l'eau est rabattu de plus de 20 mètres. A proximité on trouve l'Event du Pléoux et l'Event des Divols (maintenant inaccessible du fait de l'urbanisation).

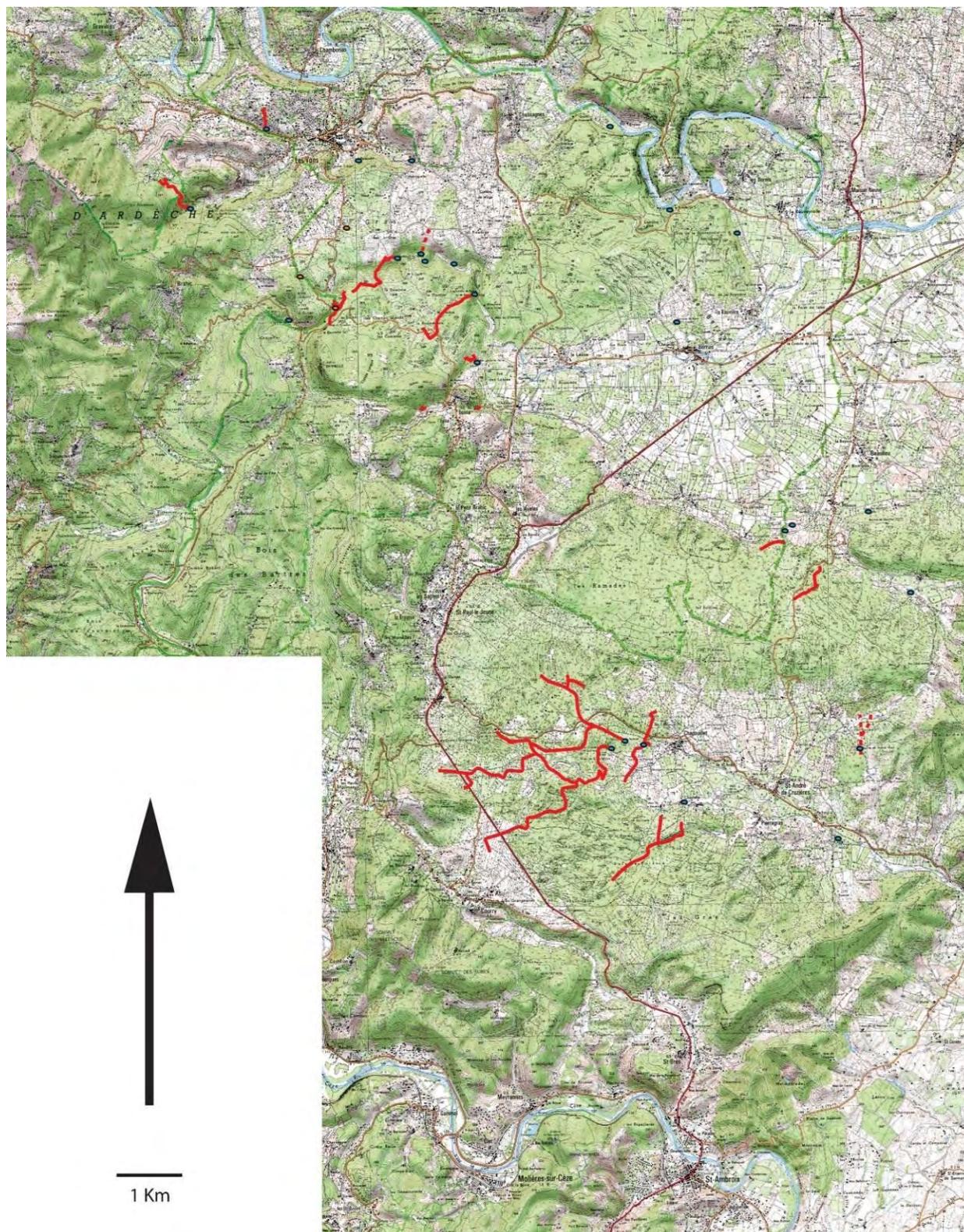
Le Runladou, tout proche est un regard sur la zone noyée du Peyrol où on observe des volumes d'eau importants. Le siphon développe 440 mètres et atteint la côte 64 m NGF (le Chassezac coule à 110 m NFG à Maisonneuve). On observe aussi dans cette cavité d'importantes mises en charge. Sur le plateau, on peut citer l'Aven de la Charrette où s'écoule un actif permanent de quelques litres/seconde à la côte 166 m NGF. Les explorations à l'amont sont bloquées par des rétrécissements après un siphon non profond de 90 mètres, et à l'aval sur un siphon étroit à la côte 138 m NGF, qui correspond à l'altitude de la plaine. L'aven de la Charrette, ne semble pas affecté par des mises en charge. Le bassin d'alimentation de cette zone est inconnu. Il ne faut pas écarter la possibilité d'un déversement du synclinal dans cette direction. En effet, on peut citer l'Aven du Tégoul et le Peyraou de Chadouillet, dont les amonts se développent dans cette direction. Le Tégoul est un vaste siphon qui se développe à partir de l'altitude de 150 m NGF et se prolonge vers l'amont jusqu'à la côte 108 m NGF. Le Peyraou de Chadouillet déverse à l'altitude de 160 m NGF et se développe sur l'amont sur plus d'un kilomètre et atteint à la profondeur maximale la cote de 82 m NGF.

Si cette partie de la zone noyée de la cuvette de Saint André est en connexion avec le Peyrol, le potentiel de cette zone en ressource en eau karstique sera très important. Par contre si la zone noyée du Peyrol est seulement alimentée par déversement, cela limitera son potentiel.

Etude d'identification et préservation des ressources souterraines stratégiques pour l'alimentation en eau potable du bassin versant de l'Ardèche – Phase 1.

Cavité NOM	Commune	SIPHON	Données hydrologiques		Données topographiques	
			écoulement	fonctionnement	developpement	déniélé
<b>BOIS DE PAÏOLIVE (du Chassezac au gras des Vans)</b>						
Combes (grotte des)	Banne	2			582	-45
Devès de Banne (aven du)	Banne	oui			64	-29
Dragonnière de Banne (résurgence de la)	Banne	14	permanent	exsurgence	1931	-36/+70
Granzon (perte amont du)	Banne		temporaire	perte	57	-2
Granzon (perte n°2 du)	Banne	3ou4	temporaire	perte	800	-36
Papillons (résurgence des)	Banne		temporaire	résurgence	75	
Perrier (résurgence du)	Banne	oui		résurgence	423	-1
Résurgence pompée	Banne			résurgence	0	
Bas Gras (perte n°1 du)	Les Vans		temporaire	perte	20	-6
Bassin (résurgence du)	Les Vans		permanent ?	résurgence	6	
Boissin (fontaine de)	Les Vans	9	permanent	exsurgence	884	-11
Brès (fontaine de)	Les Vans		temporaire	exsurgence	64	1
Champclos (fontaine de)	Les Vans			source	1783	+133
Château de Chassagnes (exsurgence du)	Les Vans		temporaire	résurgence	0	
Combrets (aven n°1 des)	Les Vans		temporaire	perte	50	-20
Frères (résurgence des)	Les Vans			résurgence	80	0,5
Gilles (perte temporaire impénétrable)	Les Vans		temporaire	perte	0	
Granzon (perte n°1 du)	Les Vans	oui	temporaire	perte	500	-12
Marquise (source de la)	Les Vans			source	0	
Naves (résurgence de)	Les Vans		temporaire	résurgence	14	
Pont de malbosc (résurgence du)	Les Vans		temporaire	résurgence	50	6
Radjou (exsurgence temporaire du)	Les Vans	non	temporaire	exsurgence	20	-2
Sarmejeanne (grotte de)	Les Vans	oui		résurgence	350	-1
Signal (aven n°1 du)	Les Vans				70	-12
Tufs (source des)	Les Vans			source	0	
Tuyau de plomb (fontaine du)	Les Vans	oui	permanent	exsurgence	170	3
Vedel (fontaine du)	Les Vans	7	permanent	résurgence	2300	-3/+28
Berre (fontaine de)	Berrias et Casteljau		permanente	exsurgence	0	
Padelle de Casteljau (résurgence tempo)	Berrias et Casteljau	oui	temporaire	résurgence	60	
Téron (exsurgence le)	Berrias et Casteljau	?	temporaire	exsurgence	12	-9
<b>RETOMBEE DE LA CUVETTE DE SAINT ANDRE DE CRUZIÈRE</b>						
Charrette (aven de la)	Beaulieu	oui			520	-108
Divol (évent de)	Beaulieu				60	-30
Pléoux (évent de)	Beaulieu		cheminée d'équilibre	trop plein	112	-38
Runladou (grotte du)	Berrias et Casteljau	oui			2200	-106/+27
Peyrol de Beaulieu (le)	Beaulieu	oui	temporaire	source	20	-20
Pléoux (évent de)	Beaulieu			TP + lac avec cheminée d'équilibre		

**Tableau 18 : inventaire bibliographique des cavités en eau de l'unité Sud-Chassezac (Source : CDS07)**



***Figure 60 : report des réseaux spéléologiques de l'unité « Sud Chassezac» (CDS - 2015)***

### 2.7.2.2. *Piézométrie, gradient, direction d'écoulement*

A ce jour aucune piézométrie n'existe pour ce secteur.

Au niveau du Karst de Naves et de celui des Vans, la direction de l'écoulement semble préférentiellement dirigée vers le Sud – Sud-est en direction de la résurgence du Perrier. Puis, les écoulements rejoignent la source de la Fontaine de Berre à l'Est (Résultats des historiques de traçage). La zone est encore peu connue, il est donc difficile de conclure sur les écoulements notamment au niveau du karst du bois de Païolive qui est entaillé au Nord par les Gorges du Chassezac sur 50 à 120 m de profondeur. Les sources d'Endieu et de Mazet en sont les seules émergences importantes[6]. Le pendage et le réseau de fractures ont bien évidemment un rôle dans la direction de l'écoulement mais l'étude bibliographique ne nous permet pas de le définir précisément.

En ce qui concerne la plaine de Beaulieu, Pascal [7]affirmait que les calcaires situés sous les marnes valanginiennes étaient non-karstifiés et qu'il n'y aurait donc pas de connexion avec le flanc Nord de l'anticlinal de Saint-Paul. L'ensemble des eaux du flanc Nord de l'anticlinal (sans connaissance précise de la provenance de ces eaux) serait donc drainé vers le Nord par les différentes sources émergeantes dans le réseau de failles du secteur. Citons la source des Astats, le Peyrol des Rouveyrols, la source Les Baumettes et La Sauzède.

### 2.7.2.3. *Paramètres hydrodynamiques et vitesses de transfert (y compris tableau des traçages)*

- Perte du Granzon => Fontaine de Vedel et résurgence du Perrier  
Pascal, 1970 : le 22/08/1969, injection de 2kg de fluorescéine dans une perte du ruisseau du Granzon, coloration de la Fontaine du Vedel après 206h pour 1600m (8m/h) et la résurgence du Perrier située à 2300 m après 648h.
- Perte de Gilles => résurgence des Frères  
Pascal, 1970 : en 1969, injection de 2kg de fluorescéine dans les pertes du Gilles aux Vans, coloration de la résurgence des Frères située à 600m en 5h (120m/h).
- Grotte des Combes => rés. Perrier, sces des Roux et Lauze, Trou Nicolasss, Fontaine de Berre  
Pascal, 1970 : le 5/03/1970, injection de 600g de fluorescéine dans la grotte des Combes, coloration en 0,5 jours de résurgence du Perrier située à 1300 m, des sources des Roux et de la Lauze et du Trou Nicolas après 5 jours, et de la Fontaine du Berre après 5,5 jours.

Tableau récapitulatif des traçages effectués dans l'entité				
Injection	Réapparition	Quantité de traceur	Temps de restitution	Vitesse de transfert
Perte du Granzon	Fontaine de Vedel	2 kg (fluorescéine)	206h	8 m/h
	Résurgence du Perrier		648h	3,5 m/h
Perte de Gilles	Résurgence des Frères	2 kg (fluorescéine)	5h	120 m/h
Grotte des Combes	Résurgence des Frères	600g (fluorescéine)	12h	108 m/h
	Sources des Roux		120h	
	Source de la Lauze		120h	
	Trou du Nicolass		120h	
	Fontaine de Berre		132h	

**Tableau 19 : récapitulatif des traçages effectués dans l'unité Sud-Chassezac**

### 2.7.3. Appréciation du potentiel quantitatif

Le karst de Naves est très limité, et son potentiel est faible du fait de sa faible extension et de sa position perchée, ce qui est confirmé par le débit du seul exutoire de ce petit karst : la Font de Champclos.

Malgré une vaste superficie à l'affleurement de calcaires karstifiés, le karst des Vans semble pour sa majeure partie sans grandes réserves :

- Sa limite orientale est occupée par un écoulement pérenne et pourrait présenter des réserves en lien avec les sources de Perrier, la Lauze, Trou du Nicolass et la Fontaine de Berre. Le traçage à partir de la Grotte des Combes a révélé une vitesse de circulation faible entre la résurgence du Perrier et la source de la Lauze ce qui pourrait se traduire par la présence d'une zone noyée. Pascal [7] évoque un pompage pour l'irrigation de 60 m<sup>3</sup>/sec (m<sup>3</sup>/h?) dans le trou du Nicolass. Un pompage d'essai permettrait de connaître les potentialités de ce secteur.
- Dans les gorges du Chassezac en rive droite de ce dernier, plusieurs sources pérennes au débit d'étiage de 1 à quelques litres/seconde (Endieu, Marquise...) sembleraient indiquer quelques réserves ; aucun réseau d'importance n'a pu être exploré, ce qui empêche de compléter les rares données disponibles sur le secteur du Bois de Païolive.

Le flanc nord de l'anticlinal de Saint Paul montre des sources temporaires au débit impressionnant mais une baisse de niveau piézométrique, montrant un assèchement total des émergences connues. Il semble donc agir comme un déversoir avec peu de zone de stockage et des vitesses de circulations importantes lors d'évènements pluvieux. Le Runladou tout proche permet un accès souterrain et présente des volumes d'eau importants à l'étiage sans avoir la certitude d'un écoulement. Du fait de débits très importants en crue et de l'absence de connaissances sur les écoulements à l'étiage, l'alimentation du karst du flanc nord se pose : lien avec le synclinal de Cruzières en hautes eaux ou karstification sous la plaine de Beaulieu ?

La plaine de Beaulieu marquée par les affleurements de marnes valanginiennes accuse un léger plissement, d'où une structure en synclinal de faible pendage. Sous ces marnes, les calcaires jurassiques s'enfoncent depuis le flanc nord de l'anticlinal de Saint Paul et le flanc sud du karst des Vans- Bois de

Païolive. Les calcaires jurassiques sont réputés non karstifiés (Pascal, 1970). Le secteur mériterait des investigations pour expliquer le fonctionnement de l'anticlinal de SaintPaul et confirmer l'absence de connexion entre les sous-systèmes.

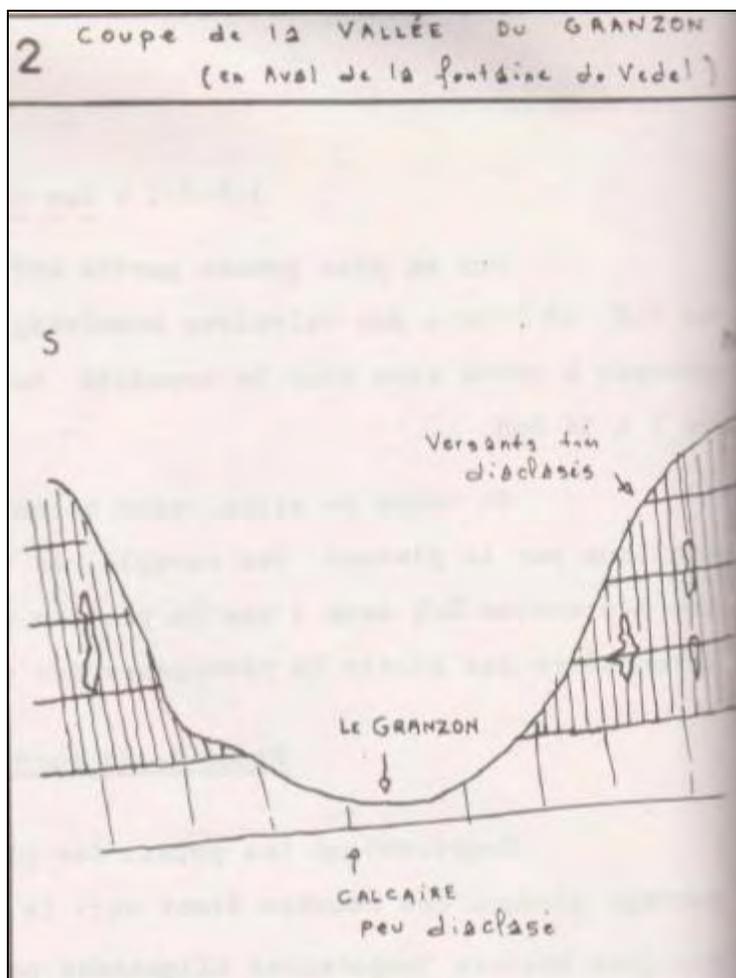
Par ailleurs, plusieurs forages sont connus dans la plaine de Beaulieu, on parle notamment d'un forage industriel avec un débit de plusieurs centaines de litres par seconde (Clerc, 2009).

#### 2.7.4. Echanges nappe/rivière

La bordure sud du Bois de Païolive montre plusieurs réseaux de pertes couplées à des résurgences : grotte des combes (3 l/s), résurgence du Perrier (3 l/s), résurgence de la Grille, trou du Nicolass, Fontaine de la Lauze (0,05 l/s), source des Roux (4 l/s), Fontaine de Berre [6].

En amont de la résurgence du Vedel, le Granzon coule au-dessus du niveau de base. Le lit temporaire se situant sur des calcaires assez francs très diaclasés et quelquefois lapiazés va avoir des pertes. Certaines sont fossiles, mais d'autres sont actives, franches et quelquefois pénétrables (Pascal, 1970). On connaît l'existence notamment de la perte n°1 et la perte n°2. Cette dernière débouchant sur une rivière souterraine pérenne (3 l/s à l'étiage) dont la communication avec les venues d'eau de la Cascade et du Grand Siphon de la Fontaine du Vedel a été démontrée par Pascal en 1969.

En aval de la Fontaine du Vedel, Le Granzon représente le niveau de base des eaux souterraines. En effet, il n'y a pas de « pertes » du cours d'eau ici pérenne mais au contraire celui-ci reçoit de nombreuses sources. La coupe de la vallée fait apparaître les flancs diaclasés tandis que le lit du Granzon présente une maille de fractures fermées de grande dimension. Les émergences sont pérennes (suintements à l'étiage) et de l'ordre de 50 l/s en crue. Ces émergences sont plus nombreuses sur la rive gauche et ceci en rapport avec une surface d'alimentation plus grande et un léger pendage Sud de la série [7].



**Figure 61 : coupe de la vallée du Granzon en aval de la Fontaine du Vedel (Source : Pascal, 1970)**

### 2.7.5. Qualité des eaux

		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	TH	+	-	TAC	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	f à 20°
46	Peyrol de Pleoux	5,2	0,1	0	0,02	0,07	5,3	5,39	5,45	5,2	0,1	0,15	2.300
47	Source de la Sarrasine	5,85	0,6	0	0,01	0,1	6,45	6,56	6,9	6,6	0,2	0,1	1.880
48	Fontaine des Astats	5,1	0,5	traces	0,02	0,09	5,6	5,71	5,87	5,5	0,15	0,22	2.170
49	Sauzède	4,3	0,9	0	0,01	0,08	5,2	5,29	5,29	5,0	0,18	0,11	2.290
50	Perrier (galerie gauche) 3 l/s	3,75	2,05	0	0,07	0,16	5,8	6,03	5,72	3,6	0,2	1,92	1.948
51	Perrier (galerie droite) 3 l/s	4,55	2,2	0	0,10	0,17	6,75	7,02	6,41	3,75	0,2	2,46	1.638
52	Perrier 50 l/s	4,25	1,0	0	0,07	0,12	5,25	5,44	5,52	3,75	0,2	1,67	2.300
53	Trou du Nicolas	4,4	0,35	traces	0,04	0,11	4,75	4,90	5,00	4,15	0,2	0,7	2.430
54	Trou de la Lauze	3,75	1,45	0	0,04	0,11	5,1	5,25	5,4	3,9	0,2	1,3	2.300
55	Source du Roux	4,05	1,55	0	0,03	0,11	5,6	5,74	5,74	4,3	0,25	1,19	2.170
56	Berre - 100 l/s	3,95	1,1	0	0,03	0,11	5,05	5,19	5,40	4,25	0,25	1,0	2.330
57	Berre 20 l/s	5,4	0,4	0	0,02	0,12	5,8	5,94	5,97	4,95	0,35	0,72	1.910
58	Pertes du Granzon	3,2	2,7	0	0,05	0,08	5,9	6,3	6,34	3,35	0,25	2,64	2.070
59	Vedel (I)	5,25	0,05	0	0,01	0,07	5,3	5,38	5,59	5,25	0,25	0,09	2.240
60	Vedel (II)	3,9	0,7	0	0,02	0,1	4,6	4,72	4,88	3,55	0,15	1,18	2.650
61	Vedel (II) petit siphon	4,75	1,0	0	0,01	0,03	5,75	5,79	4,96	4,75	0,2	0,01	2.400
62	Vedel (II) grand siphon	3,0	2,0	0	0,02	0,04	5,0	5,06	4,53	4,25	0,15	0,13	2.550
63	Vedel (II) la Cascade	3,6	1,75	0	0,03	0,07	5,35	5,45	5,15	3,95	0,25	0,95	2.340
64	Boissin sortie amont	4,2	0,75	0	0,02	0,02	4,95	4,99	4,96	4,7	0,25	0,01	2.460
65	Boissin sortie aval	4,15	0,75	0	0,02	0,06	4,9	4,98	4,76	4,6	0,15	0,01	2.460
66	Tuyau de plomb	4,7	0,5	0	0,01	0,07	5,2	5,28	5,32	5,0	0,15	0,17	2.420
67	Exurgence du bassin	5,1	0,05	0	0,01	0,07	5,15	5,23	5,29	5,0	0,2	0,09	2.330
68	La Dragonnière	2,5	2,7	0	0,02	0,08	5,2	5,30	5,95	4,8	0,1	0,05	2.420
69	La Grille	5,25	0,25	0	0,01	0,07	5,5	5,58	5,67	5,5	0,15	0,02	2.250
70	Endieu	5,3	0,2	0	0,01	0,08	5,5	5,59	5,81	5,45	0,2	0,16	2.130
71	Source de Mazet	4,85	0,15	0	0,01	0,06	5,0	5,07	5,49	5,05	0,3	0,14	2.340
72	Font de Champclos	1,75	0,05	0	0,04	0,06	1,8	1,90	1,98	1,75	0,15	0,08	5.810

**Tableau 20 : analyses chimiques des points d'eau du Sud Chassezac (Pascal, 1970), (Concentrations exprimées en meq/L).**

Ce sont des eaux de faciès bicarbonaté calcique avec quelques irrégularités dans les valeurs en  $Mg^{2+}$ . Les concentrations assez faibles pour des eaux calcaires sont dues, d'une part à des bassins versants souterrains de faibles dimensions et d'autre part au régime des sources (temporaires avec des circulations rapides) [7].

### 2.7.6. Vulnérabilité intrinsèque /Occupation des sols/Pressions

On considère une vulnérabilité moyenne à très élevée pour ce qui concerne les karsts de l'unité Sud-Chassezac notamment dû au fait que la circulation au sein de l'aquifère est rapide en certains points. Les interconnexions entre les eaux souterraines et les eaux de surface (Par exemple les pertes/émergences de la vallée du Granzon) tendent à augmenter cette vulnérabilité.

L'occupation du sol est très variée dans cette unité (Tableau 21 et Figure 62). La majeure partie de l'unité est constituée de végétation sclérophylle et forêts de feuillus. Quelques vignobles et systèmes culturaux sont présents.

Type d'occupation des sols	Surface (km <sup>2</sup> )	% surface
112 : Tissu urbain discontinu	0,059	0,16%
221 : Vignobles	1,707	4,51%
242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes	1,562	4,13%
243 : Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	0,230	0,61%
311 : Forêts de feuillus	11,219	<b>29,65%</b>
312 : Forêts de conifères	0,387	1,02%
313 : Forêts mélangées	0,180	0,48%
323 : Végétation sclérophylle	20,680	<b>54,65%</b>
324 : Forêt et végétation arbustive en mutation	1,820	4,81%
	<b>37,843</b>	<b>100,00%</b>

***Tableau 21 : répartition de l'occupation des sols sur l'unité Sud Chassezac***

Il n'existe aucune ICPE et aucun site répertorié dans les bases de données BASIAS ou BASOL au sein de cette unité.

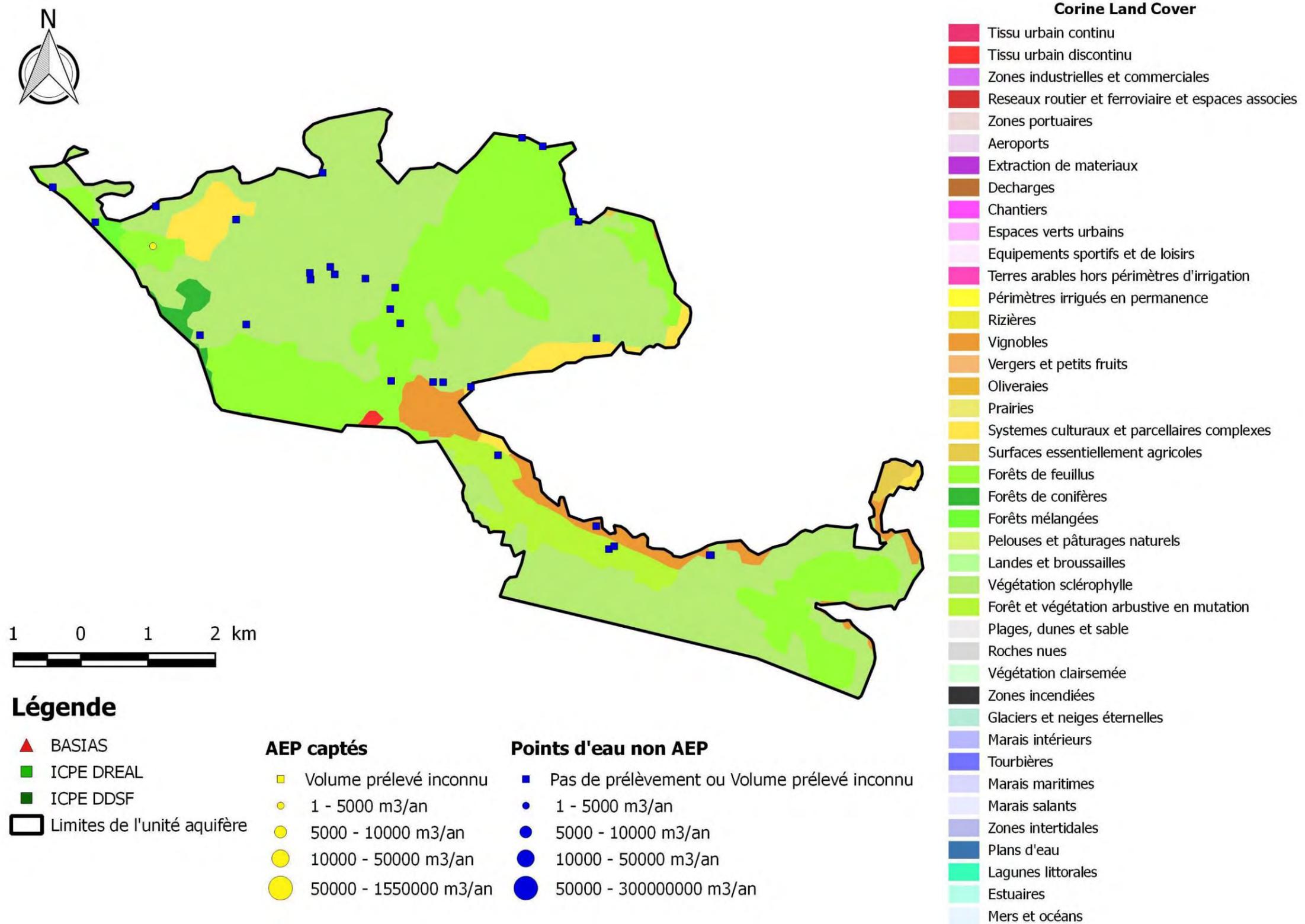


Figure 62 : occupation des sols, prélèvements et pressions industrielles sur l'unité karstique Sud Chassezac (Corine Land Cover)