



## Synthèse des résultats du projet Dardennes.

### Hydrogéologie et karstologie de l'aquifère karstique de Dardennes-Siou-Blanc (Est de l'unité du Beausset, Var)

---

Johan Jouves, Bruno Arfib, Hubert Camus

07 décembre 2018

Avec la participation de C. Baudement, T. Garin et G. Maistre.

**Projet Dardennes :** Estimation des volumes d'eau souterraine exploitables dans les structures karstiques à l'échelle régionale : Application à l'estimation des réserves karstiques Toulonnaises (Var).

Projet financé grâce au support de :



# Synthèse sur l'hydrogéologie et la karstologie de l'aquifère karstique de Dardennes-Siou-Blanc (Est de l'unité du Beausset, Var)

Cette note présente de manière synthétique les résultats du projet Dardennes (2013-2018) intitulé « Estimation des volumes d'eau souterraine exploitables dans les structures karstiques à l'échelle régionale : application aux réserves karstiques Toulonnaises (Var) ». Ces résultats sont issus des thèses de doctorat de C. Baudement (2018) et J. Jouvès (2018), complétées par un rapport sur la modélisation hydrodynamique (Garin et Arfib, 2018), un rapport de diagnostic karstologique (Camus et Jouvès, 2018) et un rapport de synthèse et recommandations de gestion (Jouvès *et al.*, 2018).

## 1. Contexte général d'étude

Le projet Dardennes (2013-2018) avait pour objectif de faire un bilan et d'améliorer la connaissance sur la réserve en eau souterraine karstique de l'aire nord toulonnaise drainée au niveau des sources de Dardennes (SE France) (Figure 1), afin d'identifier et de caractériser les ressources pour l'alimentation en eau potable actuelle et future. L'étude a été menée sous la direction de l'université Aix-Marseille en collaboration avec le cabinet CENOTE, par une approche croisée de géologie, karstologie, suivi hydrodynamique des sources et modélisation pluie-débit. Cette étude a reçu le soutien de l'Agence de l'Eau, Véolia et la ville de Toulon.

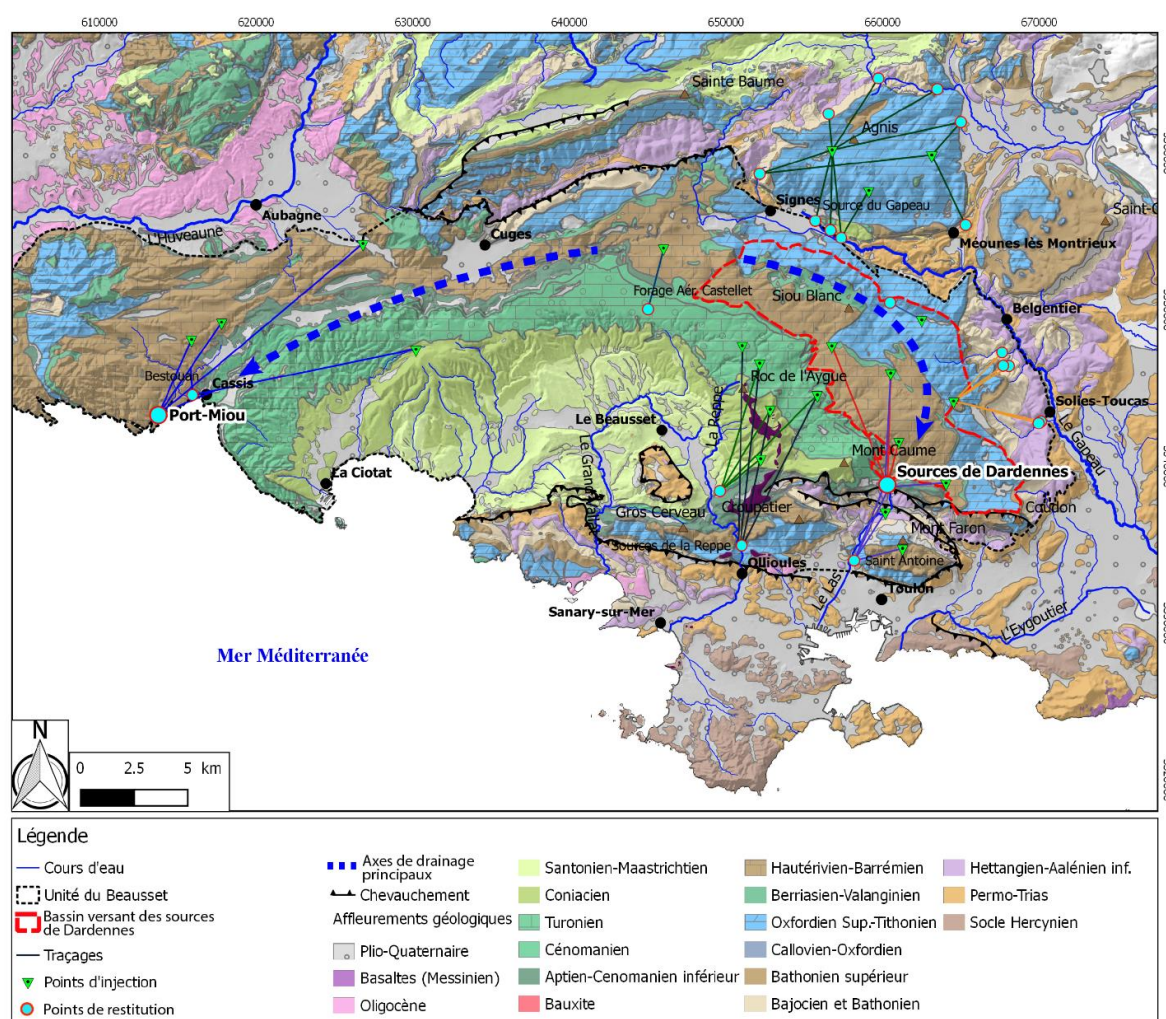


Figure 1 : Cadre géographique, géologique et hydrogéologique de l'unité du Beausset et des sources de Dardennes.

L'aquifère karstique de Dardennes constitue la partie est de l'unité géologique du Beausset qui s'étend à cheval sur les départements du Var et des Bouches-du-Rhône. L'unité géologique du Beausset est drainée majoritairement par deux grandes sources vaclusiennes : Port-Miou/Bestouan à l'ouest et les sources de Dardennes à l'est (Figure 1 et Figure 2). Les sources de Dardennes, dont le Ragas constitue l'exutoire de trop-plein (plongé à -150 m de profondeur), drainent la partie orientale de l'unité du Beausset. Ces sources de Dardennes sourdent au fond d'un barrage artificiel mis en service en 1912 afin d'obtenir une réserve pour l'alimentation en eau potable de la ville de Toulon (Figure 2). Ce complexe de sources draine un bassin versant (BV) estimé, à partir de la géologie et des modélisations Pluie-Débit, à environ 70 km<sup>2</sup>. Ce BV s'étend sur le massif de Siou-Blanc-Morières directement au Nord des sources de Dardennes. Il est principalement composé des terrains dolomitiques du jurassique supérieur et des terrains calcaires à faciès urgonien de l'Hautérvien-Barrémien. La vallée du Gapeau forme la terminaison orientale de l'unité. Les sources de Dardennes donnent naissance à la vallée du Las qui s'écoule vers le sud en traversant la ville de Toulon.

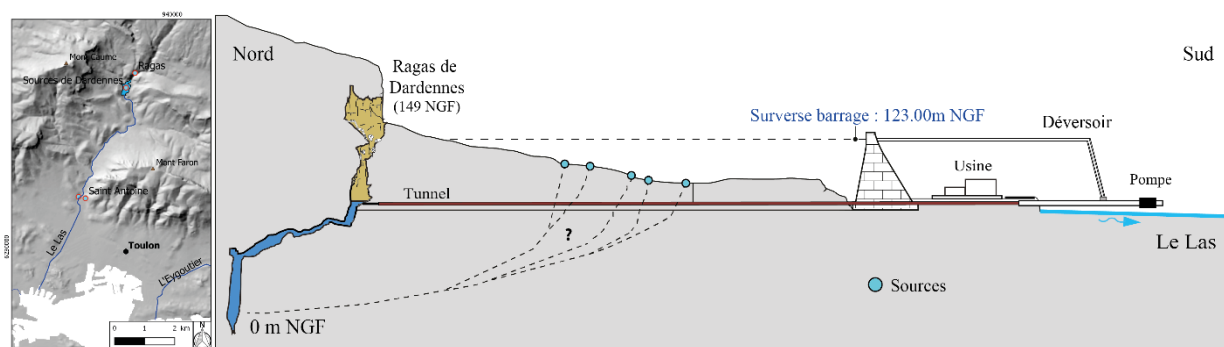


Figure 2 : Coupe schématique de la configuration des sources et du barrage de Dardennes. Modifié d'après les relevés de J.P. Lucot, T. Lamarque, P. Maurel et spéléo-plongeurs.

Le système aquifère montre un fonctionnement karstique typique à deux composantes : une composante rapide qui génère des crues de fortes intensités (plus de 30 m<sup>3</sup>/s) et une composante lente qui assure un débit d'étéage (en général compris entre 50 et 100 l/s) sur plusieurs mois avec de faibles précipitations. Malgré tout, le débit est insuffisant pour la demande en eau potable, d'où la construction d'une retenue artificielle pour créer une réserve d'eau en étéage. L'intérêt de cet aquifère réside donc dans ses réserves en eau souterraine stockées sous l'exutoire des sources. L'étude d'un tel aquifère a donc nécessité de mieux connaître sa géométrie en 3D notamment en profondeur, sa dynamique pour caractériser son fonctionnement et estimer la capacité de recharge et de stockage du réservoir naturel, et son évolution karstique qui permet aujourd'hui à l'eau de converger vers un exutoire principal.

## 2. Caractérisation de la structure géologique de l'aquifère karstique de Dardennes

La structure du réservoir karstique alimentant les sources de Dardennes a été étudié par :

- (1) des études de terrain sur la géométrie et le rôle des unités stratigraphiques sur la compartimentation du réservoir et la karstification ;
- (2) des études en laboratoire des propriétés pétrophysiques des roches à l'affleurement ;
- (3) une modélisation géologique 3D permettant d'obtenir la position en 3D d'horizons cibles et des volumes de roches et de vides.

L'aquifère karstique de Siou-Blanc est essentiellement composé par deux réservoirs (Figure 3) que sont (1) les dolomies du Jurassique supérieur et (2) les calcaires du Barrémien à faciès urgonien. Ces deux



unités réservoirs sont interconnectées par le biais de deux familles de failles principales N40-60 et N130-150 et par les structures karstiques. Le mur de l'aquifère karstique est constitué par les alternances marno-calcaires du Jurassique moyen (Bajocien-Bathonien). Au sud, le chevauchement de Dardennes joue le rôle d'écran aux écoulements.

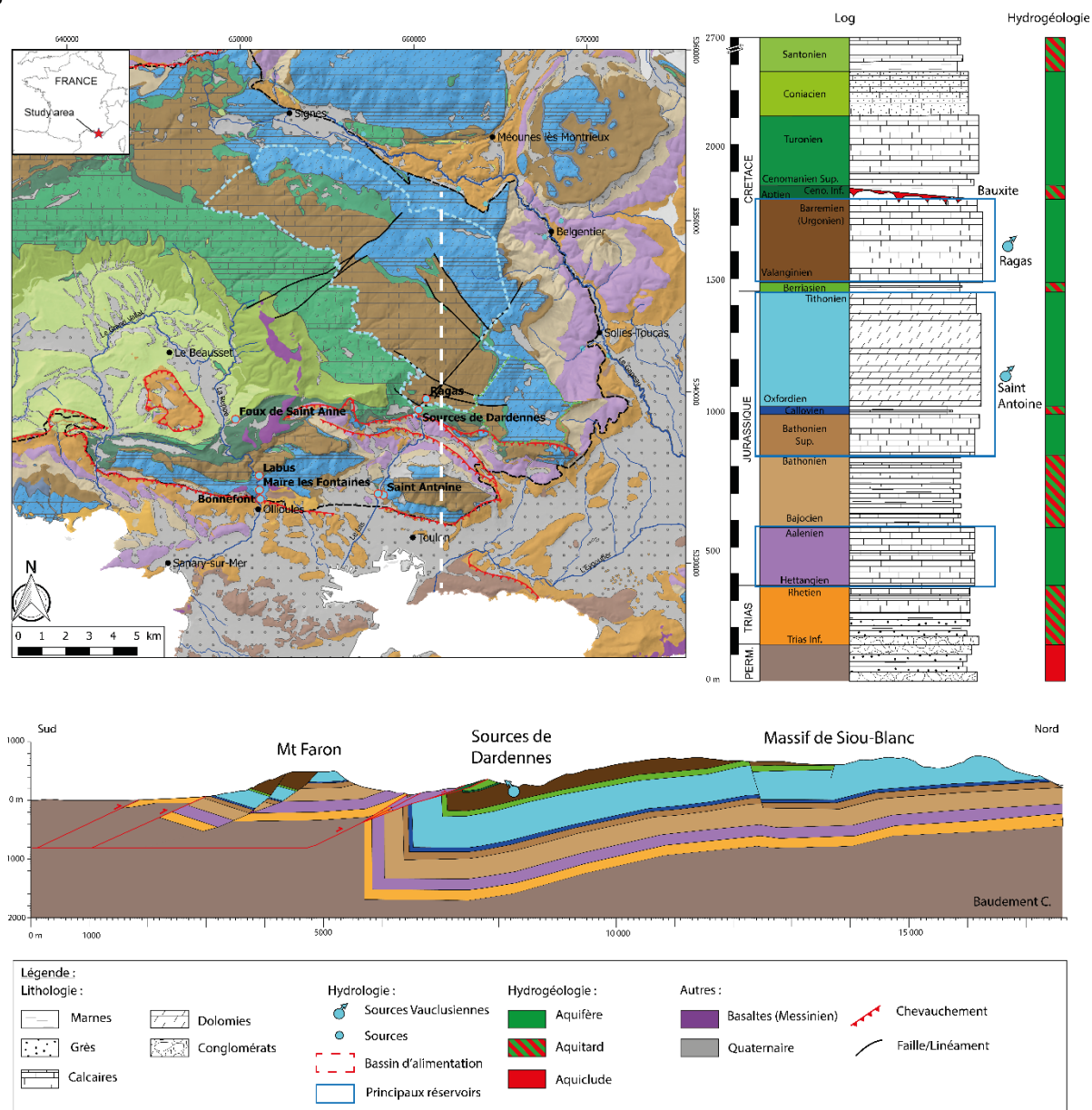


Figure 3 : Contexte géologique et stratigraphique de l'aquifère karstique de Dardennes. La coupe Nord-Sud présentée est une simplification de la réalité, basée sur les observations à l'affleurement et la méthode des coupes équilibrées (Baudement, 2018). D'autres interprétations existent en profondeur et sont discutées dans Jouves et al. 2018 (épaisseur des écailles au nord du Mont Faron, surépaisseur de Trias sous le chevauchement).

La géométrie en profondeur de l'aquifère karstique a été caractérisée par la construction de coupes équilibrées (Baudement, 2018 ; Jouves, 2018) et d'un modèle géologique 3D (Figure 4). Deux domaines distincts apparaissent : au nord un domaine globalement monoclinale plongeant vers le cœur du bassin, au sud un domaine dominé par les chevauchements toulonnais impliquant le trias et le socle. Le modèle géologique a permis d'obtenir en tout point la profondeur des couches géologiques. Les cartes d'isoprofondeur (isobathes) par rapport à la surface topographique permettent ainsi de repérer dans l'espace la profondeur des unités réservoir cibles en vue d'une exploration par forage.

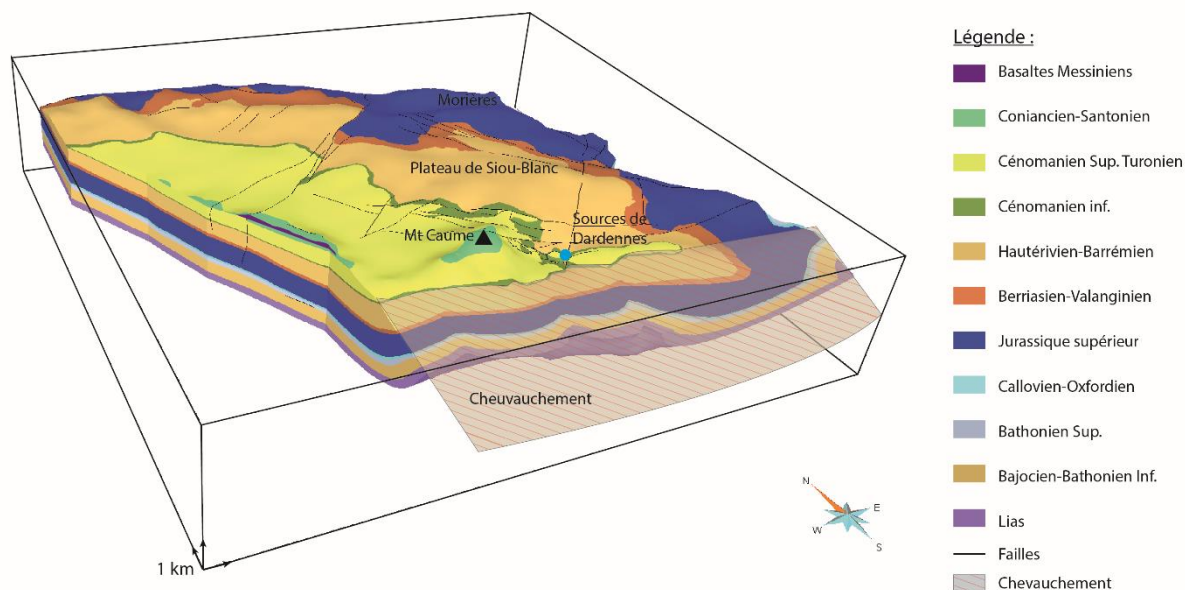


Figure 4 : Modèle géologique 3D du réservoir hydrogéologique de Siou-Blanc circonscrit aux limites supposées du réservoir karstique.

Le modèle géologique 3D a également permis de calculer des volumes de roche qui, associés aux porosités de chaque unité stratigraphique, permettent d'approximer le volume de vide et ainsi les volumes de réserves potentiellement en place. Le volume poreux total en zone saturée est compris entre  $2,91.10^8$  et  $8,53.10^9$  m<sup>3</sup>. La majorité des volumes poreux se situent dans le réservoir dolomitique du Jurassique supérieur qui représenterait entre 45 et 76 % du volume poreux de l'aquifère. Le réservoir crétacé inférieur ne représente quant à lui qu'une petite partie du volume poreux total, entre environ 6 et 10 %. Les volumes poreux ont également été calculés en fonction de la profondeur. Compte tenu de la géométrie en synclinal du réservoir, il apparaît que les réserves potentielles atteignent un seuil aux alentours des -600 m NGF. Cela signifie que la plupart des terrains réservoirs se situent au-dessus de cette cote, et que même si un forage atteint une zone plus profonde, les stocks ne seront pas significativement plus importants.

### 3. Caractérisation du fonctionnement hydrogéologique du karst de Dardennes

Le fonctionnement hydrogéologique du système karstique a été étudié à partir de 3 approches complémentaires :

- (1) une étude hydrodynamique s'appuyant sur l'analyse de chroniques de conductivités électriques, températures et niveaux d'eau ;
- (2) une étude géochimique et isotopique (ions majeurs, isotopes stables de l'eau et du carbone-13) ;
- (3) une approche de modélisation pluie-débit basée sur les chroniques de précipitations et de débits.

L'eau des sources de Dardennes a un **faciès chimique** de type bicarbonaté calcique, caractéristique d'un aquifère carbonaté. Le faciès chimique reste constant tout au long de l'année et sur toutes les années étudiées. Il n'y a pas d'influence chlorurée sodique ni sulfatée, contrairement à d'autres sources de la zone d'étude (Saint-Antoine, Labus ou Bonnefont). La conductivité électrique et la température mesurées au Ragas sont représentatives des sources de Dardennes. La conductivité électrique oscille entre 381 et 580  $\mu\text{S/cm}$ , avec 86% de ses valeurs entre 460 et 520  $\mu\text{S/cm}$ , montrant ainsi que la

conductivité électrique n'est pas influencée par du sel (marin ou issu des terrains triasiques). Lors des périodes de hautes-eaux (en dehors des crues), la conductivité électrique augmente, montrant que les eaux fortement minéralisées stockées préalablement dans la matrice de la roche encaissante sont sollicitées par l'augmentation de la charge hydraulique, et participent ainsi à l'écoulement total. La **température** de l'eau varie entre 13,2 à 14,7°C. Ces températures restent faibles, c'est-à-dire non significativement influencées par d'éventuels fluides hydrothermaux. Elles augmentent lors des périodes d'étiage et chutent fortement en périodes de crues hivernales. La tendance générale des valeurs de températures est à l'augmentation au cours du temps sur la période d'étude, en lien avec la diminution du nombre de crue au cours des années 2015 et 2016. Lors des périodes estivales, l'eau du Ragas se réchauffe du fait des pompages d'exploitation pour l'AEP dans le conduit du Ragas et de la connexion hydraulique du plan d'eau avec le conduit du Ragas.

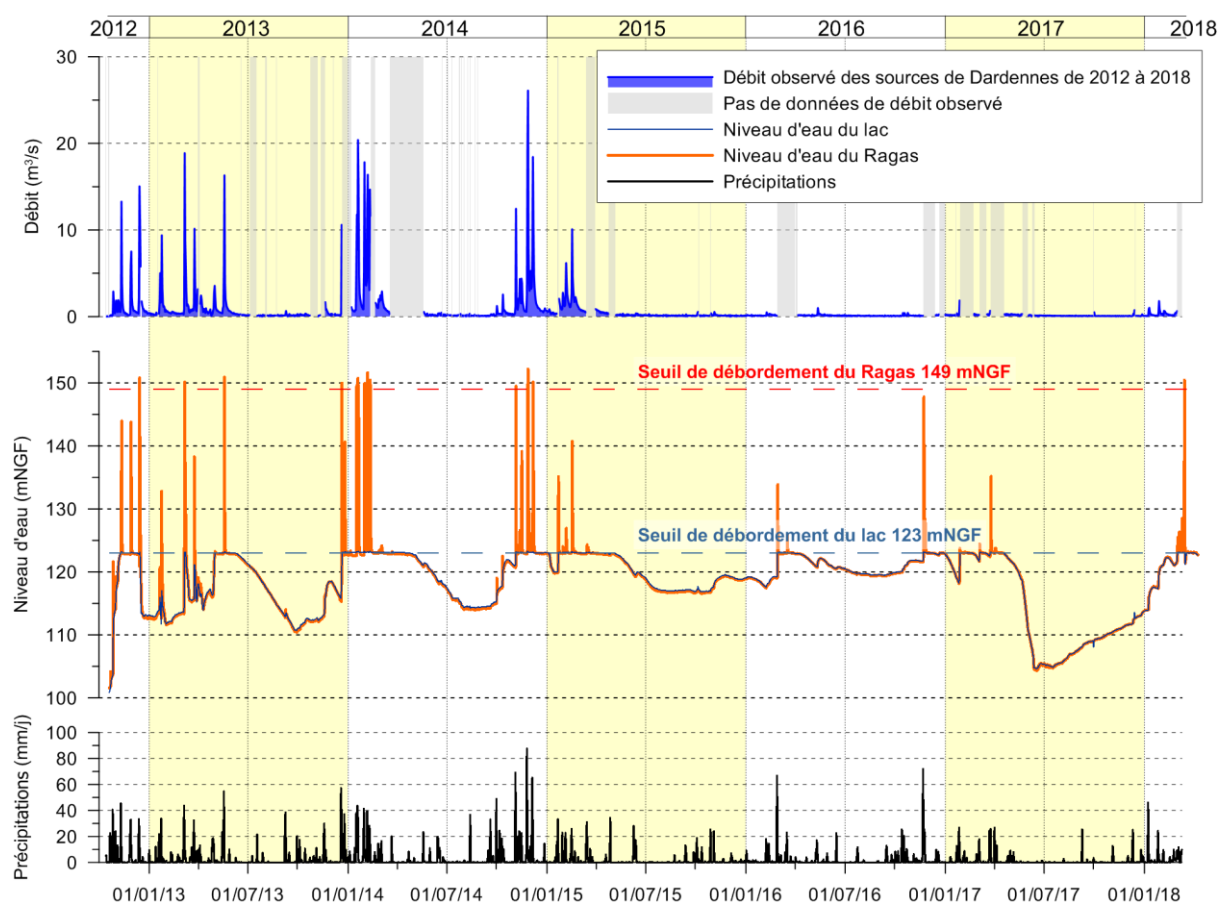


Figure 5 : Chronique de pluie, niveau d'eau et débit pour l'étude du karst de Dardennes entre octobre 2012 et mars 2018. Les précipitations journalières sont la moyenne des stations de Toulon La Mitre, Le Castellet aérodrome et La Limate. Le niveau d'eau dans le lac de Dardennes est mesuré une fois par jour par Véolia. Le niveau d'eau du Ragas est enregistré automatiquement toutes les 15 minutes. Les niveaux sont exprimés en altitude. Le débit observé est le débit total des sources de Dardennes au pas de temps journalier, incluant le débit vers le Las à l'aval du barrage, le débit capté pour l'AEP, l'évaporation sur le lac et le stockage/déstockage du lac.

L'étude **hydrodynamique** des sources de Dardennes a permis de caractériser un débit d'étiage pérenne même durant les années les plus sèches, de l'ordre de 70 à 100 l/s, et une réponse typique d'un karst avec de forts événements de crue dépassant 15 m³/s sur quelques jours (Figure 5).

L'analyse de la relation entre la hauteur d'eau maximale dans le Ragas (représentatif du débit maximal des sources) et le cumul de précipitations des événements générant les crues a permis de montrer que les événements pluvieux provoquent des crues d'autant plus fortes en fonction de différents paramètres :

- (a) les événements pluvieux inférieurs à environ 38 mm ne font jamais déborder le Ragas ;
- (b) plus le niveau du lac est haut avant la crue, plus la crue est forte ;
- (c) à l'étiage, le stockage des premières pluies dans l'aquifère est plus important qu'en période de hautes-eaux.

Ainsi, la hauteur de pluie nécessaire pour générer une **crue** aux sources de Dardennes dépend de l'état hydrologique de l'hydrosystème (étiage prononcé, basses-eaux ou hautes-eaux). Durant les périodes de basses-eaux, une part des écoulements rapides observés en crue est stockée dans l'aquifère rechargeant ainsi les réserves.

La répartition des valeurs en  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$  (**isotopes de l'eau**) des sources de Dardennes montre un mélange d'eau provenant de différentes altitudes, avec une alimentation via des zones de recharge relativement élevées (le plateau de Siou Blanc va jusqu'à 800 mètres d'altitude) et des zones de recharge inférieures à 200 m. La comparaison entre les valeurs mesurées aux sources de Dardennes et celles de la pluie a mis en évidence un phénomène d'homogénéisation du signal isotopique des masses d'eau nouvellement rechargées avec celles précédemment stockées.

Deux **modèles Pluie-Débit** ont été proposés pour des applications différentes :

- un modèle pour simuler le débit total des sources et étudier le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère ;
- un modèle pour simuler les niveaux d'eaux aux sources de Dardennes et étudier l'effet d'un pompage.

Le premier modèle a permis de simuler l'hydrodynamique des sources de Dardennes et de décomposer à chaque pas de temps (chaque jour) l'évolution du débit de base (écoulement lent) et du débit de crue (écoulement rapide). Deux périodes de calage ont été proposées (P1 et P2), donnant des résultats comparables. Les modèles permettent de calculer un débit moyen annuel variable (sur la période d'étude entre 2013 et 2017), entre un minimum à 0,16 m<sup>3</sup>/s sur le cycle 2015-2016 et un maximum à 1,24 m<sup>3</sup>/s sur le cycle 2014-2015. Le débit de base moyen par année ( $Q_{\text{MS}}$ ) varie entre 0,10 et 0,48 m<sup>3</sup>/s, alors que l'écoulement rapide ( $Q_{\text{CS}}$ ) varie entre un minimum annuel à 0,06 m<sup>3</sup>/s et un maximum annuel à 0,76 m<sup>3</sup>/s. Les modèles permettent également de montrer qu'en moyenne sur la période d'étude de 2013 à 2017, environ 45 % du débit total des sources de Dardennes provient de l'écoulement lent ( $Q_{\text{MS}}$ ) et 55 % provient de l'écoulement rapide ( $Q_{\text{CS}}$ ). En crue plus de 90 % du débit total provient des écoulements rapides. Le modèle calé sur la période d'étude a ensuite été appliqué sur une période de 20 ans, entre 1998 et 2018 (Figure 6). Il permet ainsi de calculer un débit total moyen interannuel des sources de Dardennes compris entre 0,60 et 0,73 m<sup>3</sup>/s (incertitude liée aux deux calages P1 et P2 initialement proposés), avec un débit de base moyen interannuel compris entre 0,22 et 0,29 m<sup>3</sup>/s.

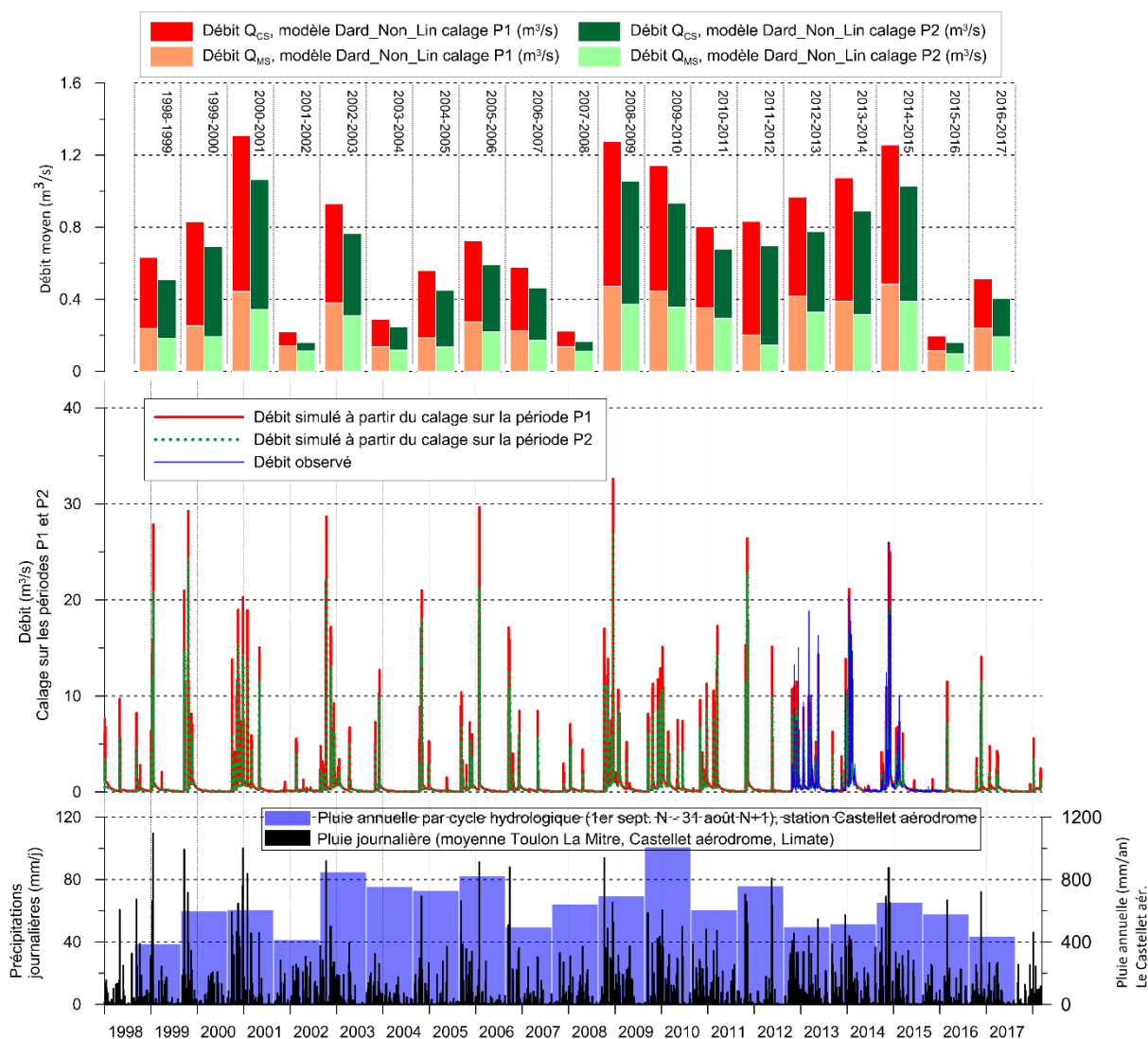


Figure 6 : Graphique du bas : pluie journalière représentative du bassin d'alimentation des sources de Dardennes. Graphique du milieu : simulation du débit moyen journalier des sources de Dardennes avec le modèle Dard\_Non\_Lin (Garin et Arfib, 2018). Graphique du haut : déconvolution entre l'écoulement lent [simulé par le débit du réservoir M à la source ( $Q_{MS}$ )] et l'écoulement rapide [simulé par le débit du réservoir C à la source ( $Q_{CS}$ )] par cycle hydrologique (valeur moyenne annuelle des débits journaliers simulés). Le modèle est calé sur deux périodes (P1 : 22/12/2012 au 30/08/2014, et P2 : 31/08/2014 au 10/03/2018) qui donnent des résultats satisfaisants dans les deux cas. Année hydrologique du 1<sup>er</sup> septembre N au 31 août N+1.

Le second modèle a permis de simuler les niveaux d'eaux aux sources de Dardennes et d'étudier l'effet d'un pompage à débit constant de 300 l/s de la ressource présente sous le niveau de résurgence actuel. Les modèles montrent que le niveau d'eau diminue durant chaque étiage sous l'effet des pompages à fort débit, puis revient à son niveau initial (lac plein à 123 mètres d'altitude) lors des pluies hivernales (le débit des sources est alors plus fort que le débit de pompage) par stockage des écoulements lents et rapides. Le niveau simulé descend d'un rabattement de quelques dizaines de mètres sous l'altitude des sources, jusqu'à une altitude proche de 0 mètre dans les années les plus sèches. Néanmoins les résultats doivent être considérés avec prudence en raison de problèmes de calage et de la non représentativité de certaines périodes simulées. Ces modélisations traduisent également la capacité de recharge de l'aquifère lorsque celui-ci a été préalablement déprimé. Elles montrent de plus qu'une exploitation avec un débit constant de 300 l/s permet de surexploiter ponctuellement la ressource sans mettre en péril les réserves de l'aquifère. Ce débit fixé à 300 l/s est équivalent au débit de base interannuel calculé sur la période 1998-2018, qui assure un prélèvement durable de la ressource dans l'état actuel de fonctionnement.



L'étude a montré qu'un débit de pompage plus important est envisageable, car l'aquifère déprimé est capable de stocker une forte part des écoulements rapides, ce qui augmentera donc sa recharge. C'est une caractéristique commune aux aquifères drainés par une source vaclusienne, qui est ici augmentée par la rétention des écoulements rapides qui ne sont donc plus perdus sous forme de crue karstique éclair dans le cours d'eau en aval.

#### **4. Caractérisation de la structuration karstique du réservoir**

La caractérisation de la structuration karstique du réservoir de Dardennes a été abordée par une approche de diagnostic karstologique. Cette approche a permis d'identifier et de déterminer les grandes phases de karstification ayant concourues au sein du massif et d'estimer qualitativement leur impact sur le fonctionnement hydrogéologique. Une cartographie des différentes formes et formations en relation avec le milieu karstique a été réalisée (Figure 7). La corrélation génétique et géométrique des éléments en présence a permis d'individualiser quatre phases distinctes de structuration et d'évolution des réservoirs karstiques du réservoir de Dardennes :

- La première phase concerne toute les phases de karstification antérieures à la mise en place des structures pyrénéo-provençales en relation avec les épisodes d'altération de la charnière Crétacé inférieur – Crétacé supérieur, ainsi que ceux du Crétacé terminal et d'une grande partie du Paléocène ; ces phases anciennes sont à l'origine de discontinuités majeures au sein du réservoir telles que la surface des bauxites ou du maillage des couloirs d'altération.
- la deuxième phase enregistre la proximité de niveaux de base peu déprimés engendrant des processus de crypto-altération qui affectent directement le substratum carbonaté à l'affleurement sous forme d'aplanissement qui recoupent les structures pyrénéo-provençales. L'abaissement peu important du niveau de base lors de l'emboîtement de ces aplanissements karstiques permet le maintien des processus crypto-karstiques là où les couvertures d'altération sont préservées c'est-à-dire là où les couvertures sédimentaires n'ont pas été décapées. Des réseaux de mise en charge se mettent en place.
- la troisième phase correspond à la réponse karstique à l'oscillation messino-pliocène avec une réorganisation des circulations vers une zone d'émergence en position très basse probablement dans le canyon messinien de Bandol, éventuellement dans celui de Cassidaigne. Ce chemin de drainage est structuré par érosion régressive des zones d'altération fantômisées interconnectées dans les dolomies du réservoir du Jurassique supérieur et dans les couloirs de brèches karstiques. La remontée du niveau de base provoque l'engorgement de ces discontinuités en grand maintenues ouvertes sous le niveau des nouvelles zones d'émergence. L'incapacité du karst à drainer les infiltrations dans le réseau profond et l'engorgement des poljés sont à l'origine d'une importante réorganisation des systèmes karstiques ; les structures de drainage souterrain héritées des phases antérieures peuvent être réutilisée, mais subissent une adaptation aux conditions nouvelles de circulations :
  - o raccordement des structures profondes par des sources vaclusiennes du Ragas (en position de karst barré) et de Saint-Antoine ;
  - o déversement des aquifères captifs et des réseaux de mise en charge (Foux de Sainte-Anne).
- la quatrième phase dynamique enregistre la prépondérance de l'érosion linéaire (creusement des canyons, érosion régressive des vallées et des reculées), le démantèlement des réseaux de mise en charge et la structuration des réseaux gravifiques dans la zone des puits d'invasion et par décolmatage des secteurs déchaussés par l'érosion différentielle. Les morphologies du plateau sont progressivement figées par l'immunité karstique, tandis que les canyons et vallées périphériques dissèquent l'entablement du massif.

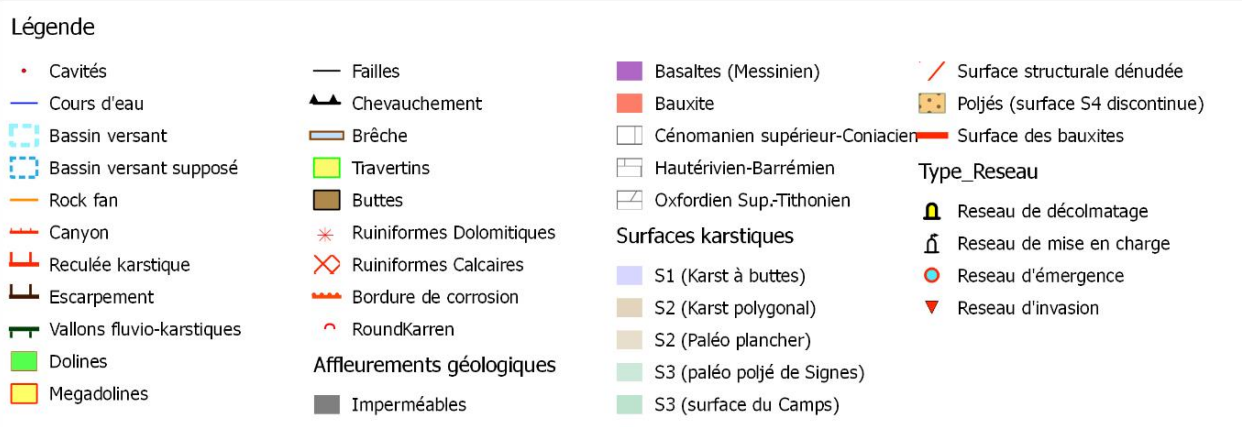
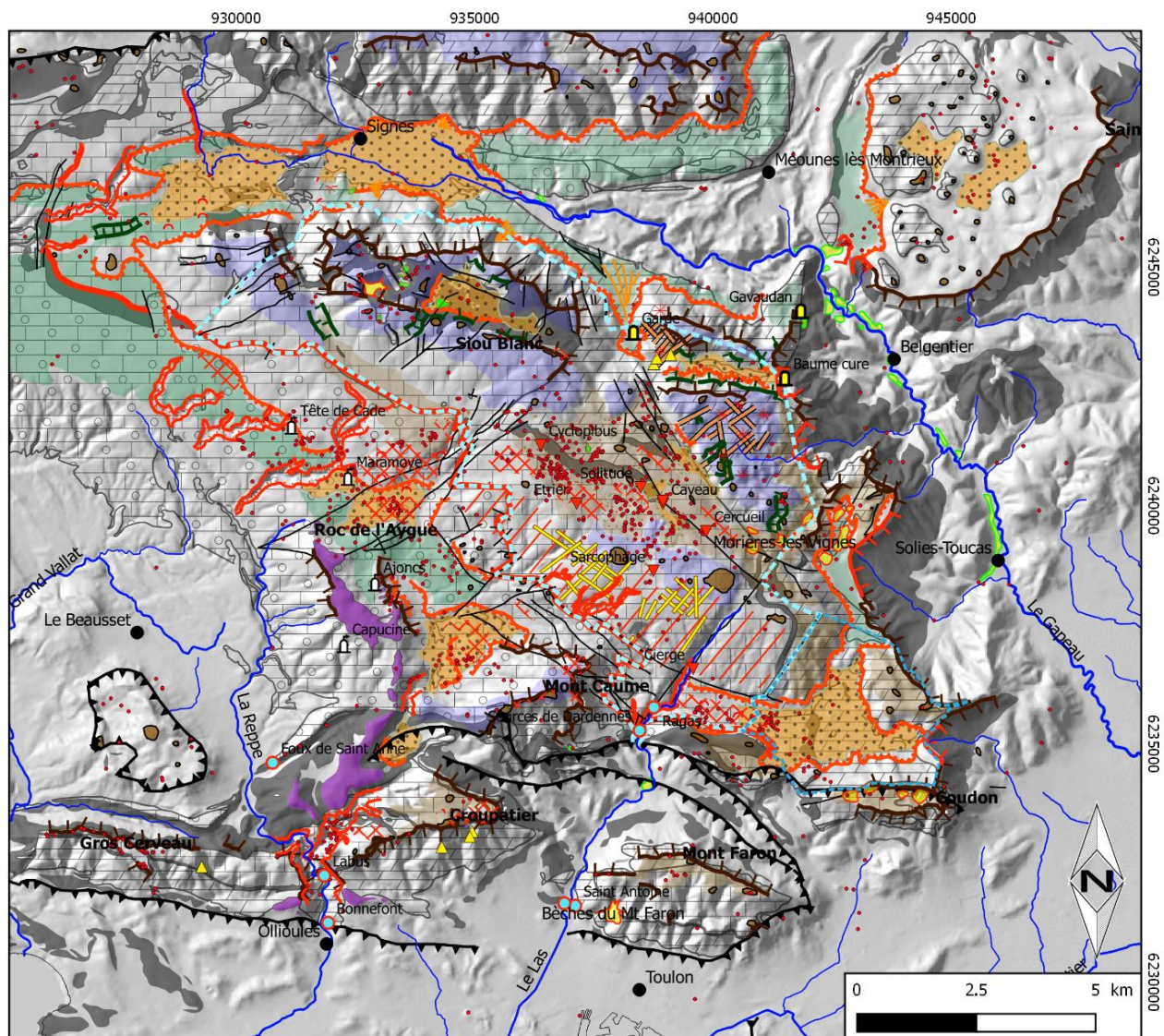


Figure 7 : Cartographie morphokarstique de synthèse du massif de Siou-Blanc.

A partir des indicateurs de structuration karstique, de leur signification morphogénétique et de leur connexion supposée avec les réseaux de drainage souterrain, une cartographie des modalités d'infiltration a également été réalisée. Trois secteurs aux caractéristiques d'infiltration différentes ont été individualisés. Cette zonation permet de définir une sensibilité karstique en surface des aquifères dont les ressources en eau sont exploitées ou constituent un patrimoine naturel à protéger.

## 5. Ressource en eau souterraine de l'aquifère karstique de Dardennes

L'aquifère karstique de Dardennes constitue un véritable réservoir d'eau souterraine, stratégiquement situé au Nord de Toulon. Actuellement les volumes exploités gravitairement sont variables de manière annuelle et interannuelle et leur disponibilité n'est pas assurée, même avec une gestion optimale du volume contenu dans la retenue. Ils sont de l'ordre de 6 millions de m<sup>3</sup> par an, ce qui représente entre 40 et 100% de la ressource provenant du débit de base sortant naturellement des sources entre 2013 et 2017, et environ deux tiers du débit de base moyen interannuel.

Selon les modélisations Pluie-Débit, une augmentation du débit d'exploitation à environ 300 l/s (environ 9 millions de m<sup>3</sup> par an) serait envisageable sans mettre en péril les réserves. Des études complémentaires de type essai de pompage permettrait également de déterminer s'il est possible de prélever un débit supérieur. Cette augmentation de la production passerait nécessairement par pompage de la ressource en-dessous du niveau de résurgence actuel des sources. Ce type d'exploitation permettrait de passer à une gestion active de la ressource, avec alimentation du Las en aval de Dardennes et création d'une capacité accrue de stockage des pluies pour limiter les crues liées aux événements extrême de type méditerranéen en fin de période d'été. Cette ressource en eau est localisée dans les calcaires et dolomies fracturés et karstifiés. Les niveaux aquifères sont par ordre décroissant de productivité supposée : (1) le Jurassique supérieur dolomitique, poreux, fracturé et karstifié potentiellement en profondeur par des processus de fantômisatation, et (2) le Crétacé inférieur calcaire, très peu poreux mais intensément fracturé et karstifié, la ressource y est difficile d'accès du fait de la concentration des écoulements dans quelques grands vides karstiques.

Plusieurs scénarios de ciblage sont proposés pour l'exploitation de la ressource. Ils concernent une exploitation de la ressource par forage et/ou pompage sous le niveau d'émergence actuel des sources (Figure 8) :

- exploitation de la ressource : dans la zone de restitution des eaux, soit dans le périmètre de la retenue, soit directement dans le conduit karstique du Ragas ;
- exploitation de la ressource en amont de la zone de restitution des eaux ;
- exploitation de la ressource par forage sous le chevauchement en aval de la zone de restitution des eaux.

Les différents scénarios comportent chacun des avantages et des inconvénients/incertitudes. Les principales incertitudes résident dans la géométrie des structures géologiques sous le chevauchement et dans le recoupement de structures productives (hors scénario de forage dans le conduit du Ragas). La première incertitude pourrait être réduite, voire levée, par des investigations de type forage profond ou géophysique. La seconde concerne directement la quantité d'eau susceptible d'être produite par forage qui est directement liée au recoupement et à la connectivité des structures karstiques drainantes. Cette inconnue ne peut être explorée que par forage dans des zones aux potentialités suspectées mais non encore explorées.



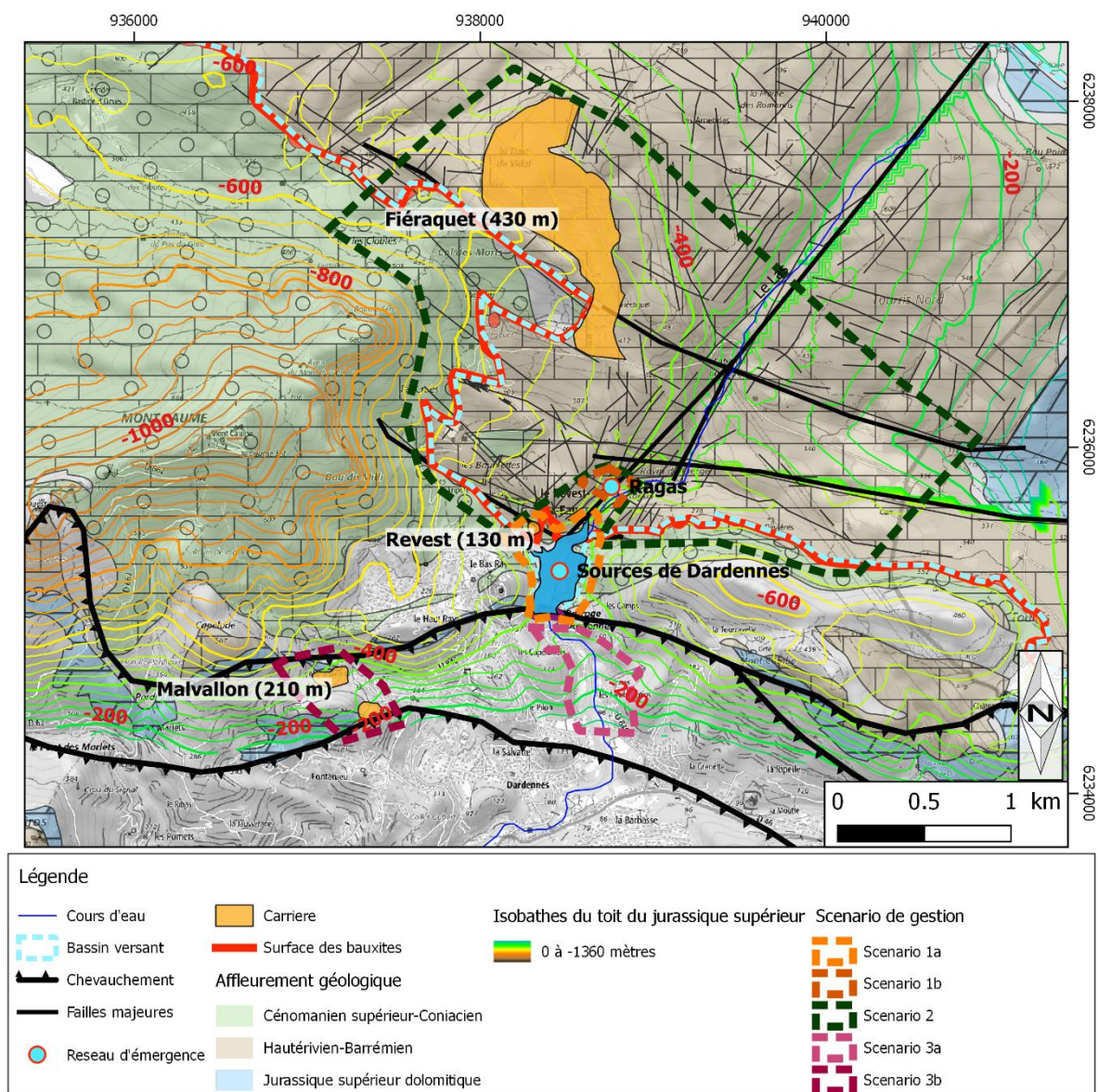


Figure 8 : Localisation des différents scénarios de ciblage pour l'exploitation de la ressource en eau de l'aquifère karstique de Dardennes.

## Références :

- Baudement, C., 2018. Évaluation des capacités d'écoulement et de stockage d'un aquifère karstique dynamique par caractérisation géologique et modélisation pluie-débit. Sources de Dardennes, Toulon, France. Thèse de doctorat Aix-Marseille université. 271 pages
- Camus, H., Jouvès, J., 2018. Diagnostic karstologique du réservoir de Dardennes-Siou-Blanc, Cenote.
- Garin, T., Arfib, B., 2018. La modélisation Pluie-Débit-Niveau de l'aquifère karstique de Dardennes : synthèse des modèles proposés au cours du projet Dardennes (2014-2018), Aix-Marseille université.
- Jouvès, J., 2018. Origine, caractérisation et distribution prédictive des structures karstiques. De la karstologie aux modèles numériques 3D. Thèse de doctorat Aix-Marseille université, 256 pp.
- Jouvès, J., Camus, H., Arfib, B., 2018. Synthèse des résultats du projet Dardennes, recommandations et scénarios de gestion de la ressource en eau de l'aquifère karstique de Dardennes-Siou-Blanc, Cenote & Aix-Marseille université

Plus d'informations sur [www.karsteau.fr](http://www.karsteau.fr)