

Estimation des ressources en eau souterraine karstique : de la karstologie aux modèles hydrogéologiques.

Quels volumes disponibles pour l'alimentation en eau potable de la région de Toulon (83) ?

Bruno Arfib - Univ. Aix-Marseille, CEREGE

Hubert Camus - CENOTE

Echelle
Régionale



Echelle
Locale

Un territoire caractérisé par :

- des **transferts d'eau de surface**
- des eaux souterraines karstiques locales **peu étudiées**
- une ressource en eau souterraine potentiellement disponible pour la **diversification et la sécurisation de l'AEP**

- une source d'alimentation en eau potable pour **Toulon (30%)**
- un **bassin versant naturel et karstique**
- un stock d'eau souterraine potentiellement exploitable en **gestion active** (eau potable, milieu aquatique, crues)



Objectifs du projet DARDENNES (2013-2018)

- ➔ Etudier une « ressource en eau **stratégique** »
- ➔ Relation entre la karstification et les flux d'eau souterraine
- ➔ Evaluer la faisabilité d'une **gestion active** d'un aquifère karstique
- ➔ **Transformer** la connaissance en **recommandations** pour l'exploitation et la gestion future

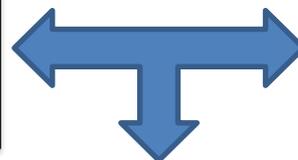
Objectifs du projet DARDENNES (2013-2018)

- ➔ Etudier une « ressource en eau **stratégique** »
- ➔ Relation entre la karstification et les flux d'eau souterraine
- ➔ Evaluer la faisabilité d'une **gestion active** d'un aquifère karstique
- ➔ **Transformer** la connaissance en **recommandations** pour l'exploitation et la gestion future

Un projet partenarial



Recherche scientifique
Thèses de doctorat :
C. Baudement et J. Jouves



Approche diagnostic
karstologique
Cenote

Problématique opérationnelle :
Recommandations et scénarios de gestion de la ressource



Cas d'étude : l'aquifère de Dardennes

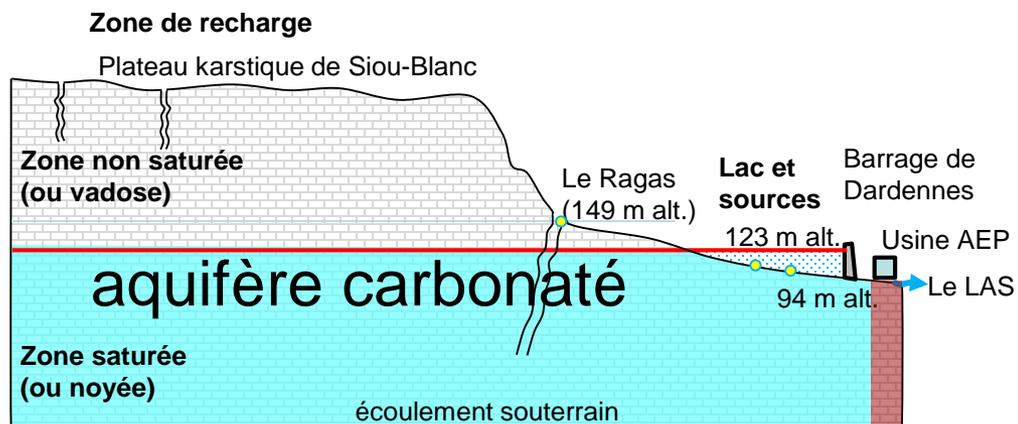
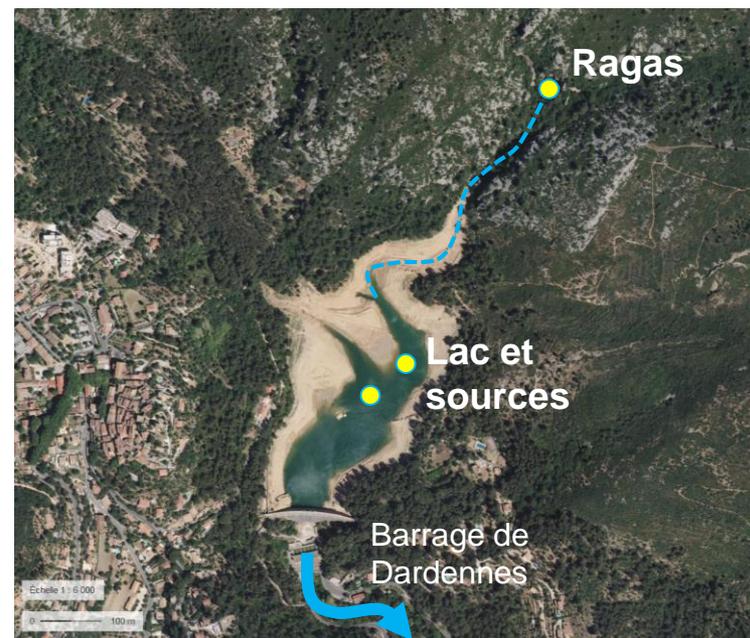


Schéma en coupe (sans échelle)



70 km²



Projet DARDENNES (2013-2018) : Méthodologie

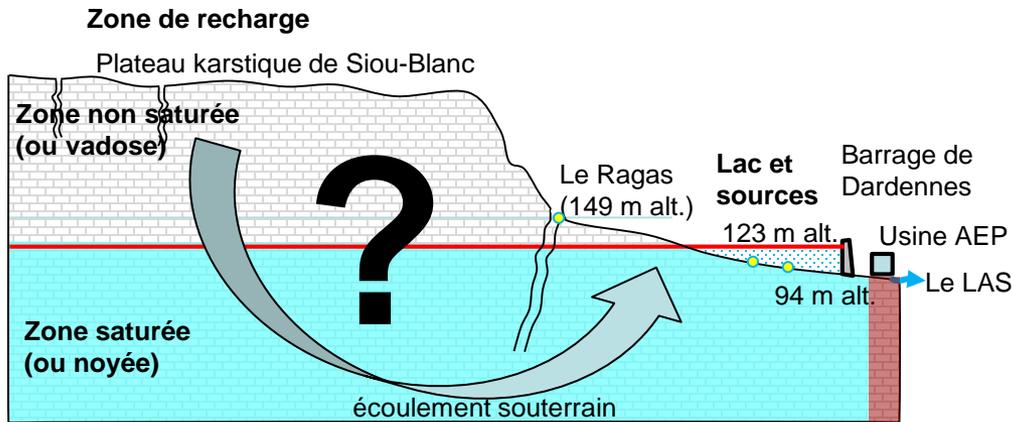
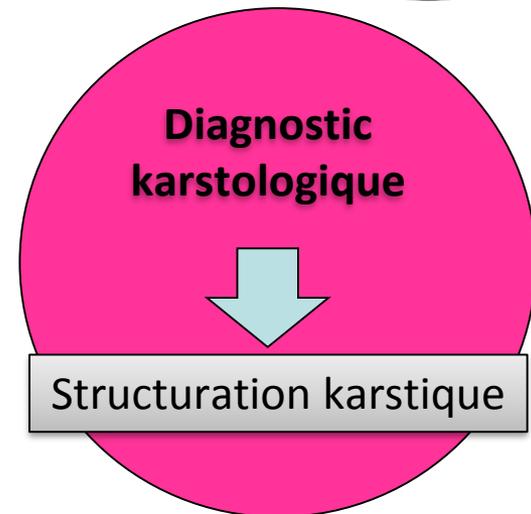
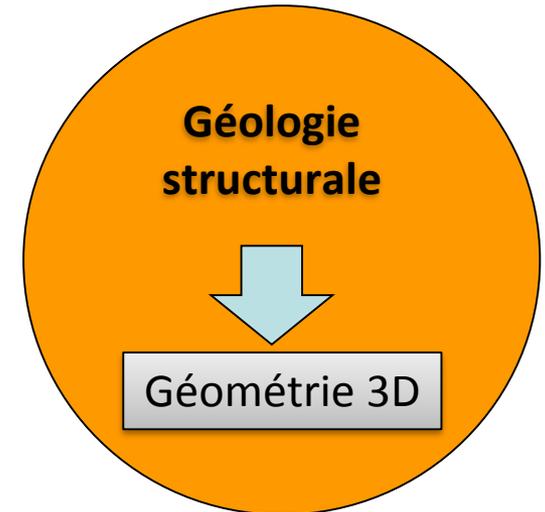


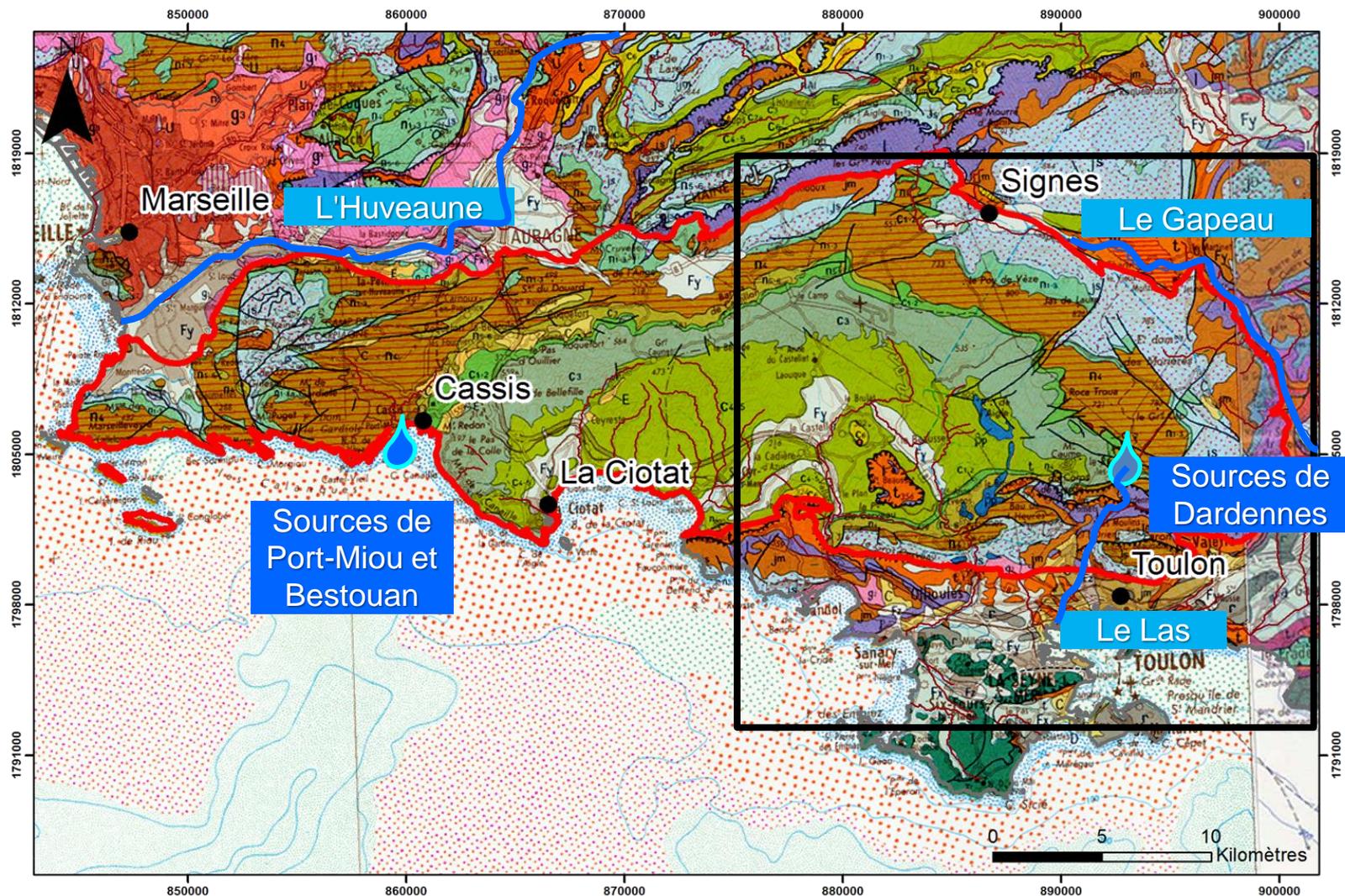
Schéma en coupe (sans échelle)



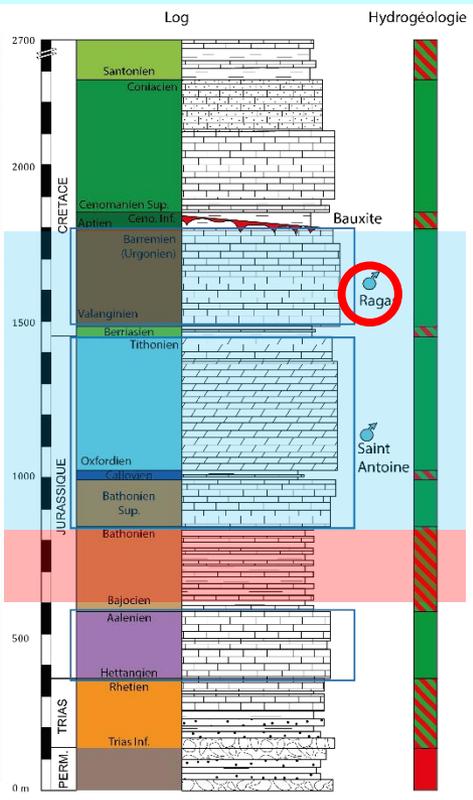
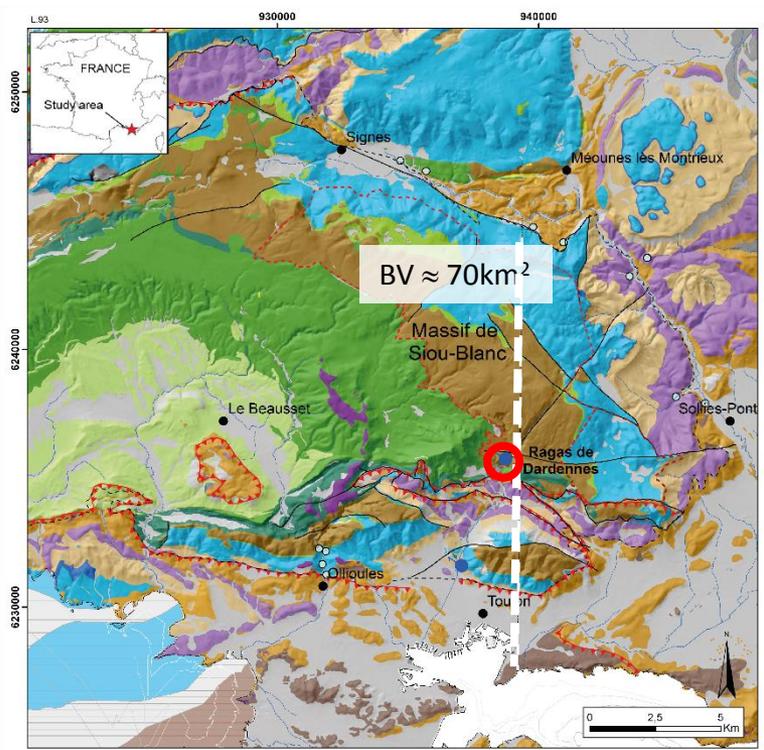
**Suivi CTD des sources
Modélisation Pluie-Débit**

Hydrodynamique
Bilans hydrologiques
Simulation de scénarios

Contexte géologique et hydrogéologique : unité du Beausset



Contexte géologique et hydrogéologique : unité du Beausset



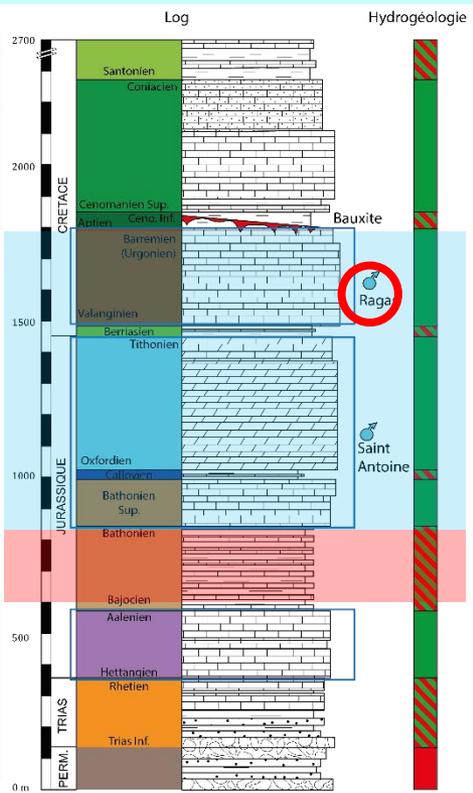
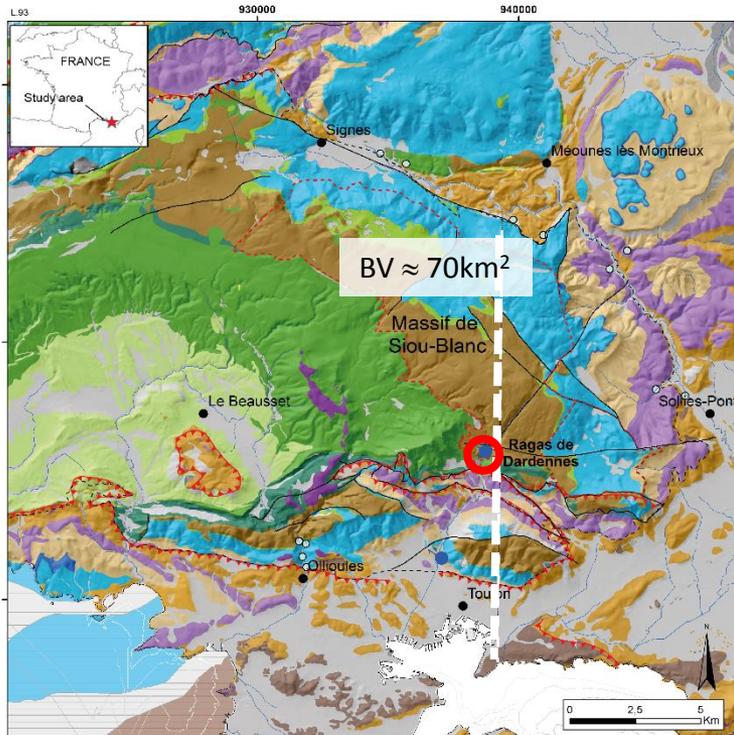
- 2 unités réservoirs :
Calcaires Urgonien (Haut.-Barrémien)
Jurassique Sup. Dolomitique

- Aquitard :
Bajocien-Bathonien marno calcaire

Légende :

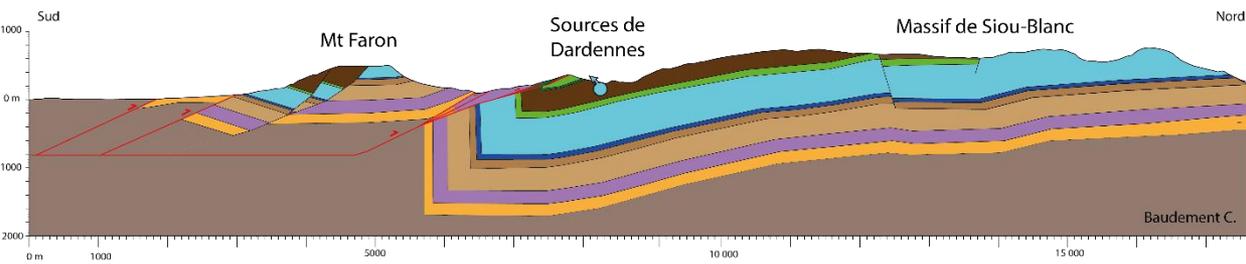
Lithologie :	Hydrologie :	Hydrogéologie :	Autres :
<ul style="list-style-type: none"> Marnes Grès Calcaires Dolomies Conglomérats 	<ul style="list-style-type: none"> Sources Vauclusiennes Sources Bassin d'alimentation Principaux réservoirs 	<ul style="list-style-type: none"> Aquifère Aquitard Aquiclude 	<ul style="list-style-type: none"> Basaltes (Messinien) Quaternaire Chevauchement Faïlle/Linéament

Contexte géologique et hydrogéologique : unité du Beausset



- 2 unités réservoirs :
Calcaires Urgonien (Haut.-Barrémien)
Jurassique Sup. Dolomitique

- Aquitard :
Bajocien-Bathonien marno calcaire

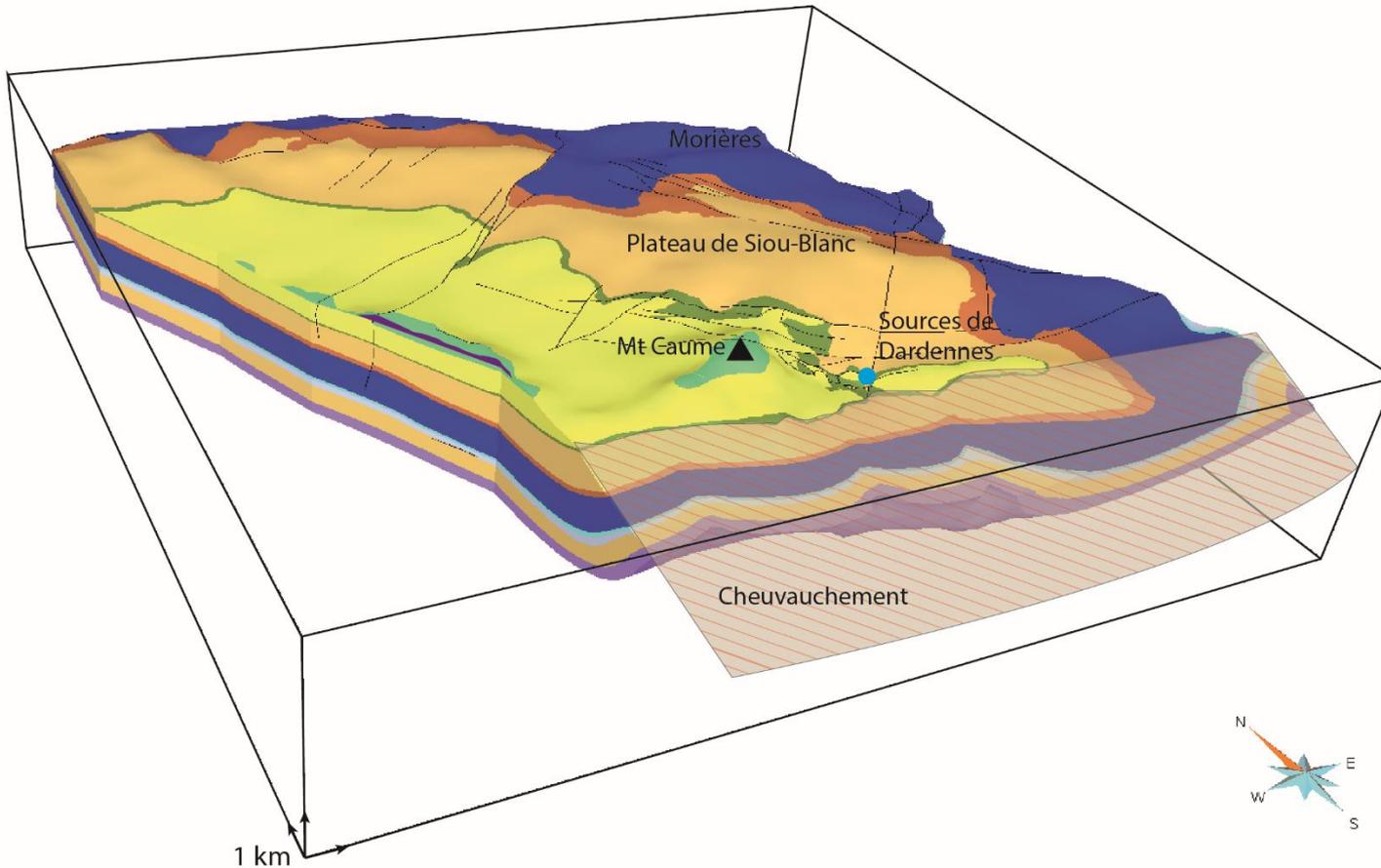


Légende :

Lithologie :	Hydrologie :	Hydrogéologie :	Autres :
Marnes	Sources Vauclusiennes	Aquifère	Basaltes (Messinien)
Dolomies	Sources	Aquitard	Quaternaire
Grès	Bassin d'alimentation	Aquiclude	Chevauchement
Calcaires	Principaux réservoirs		Faïlle/Linéament

Légende :

-  Basaltes Messiniens
-  Coniacien-Santonien
-  Cénomaniens Sup. Turonien
-  Cénomaniens inf.
-  Hautérivien-Barrémien
-  Berriasien-Valanginien
-  Jurassique supérieur
-  Callovien-Oxfordien
-  Bathonien Sup.
-  Bajocien-Bathonien Inf.
-  Lias
-  Failles
-  Chevauchement

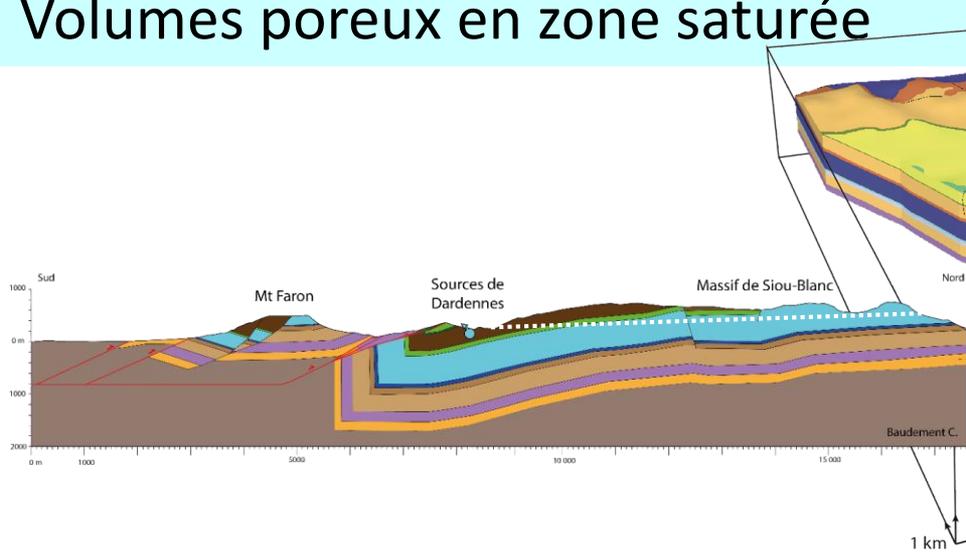


- Géométrie géologique en profondeur
- Volumes potentiellement réservoirs
- Support de modélisation

Volumes poreux en zone saturée

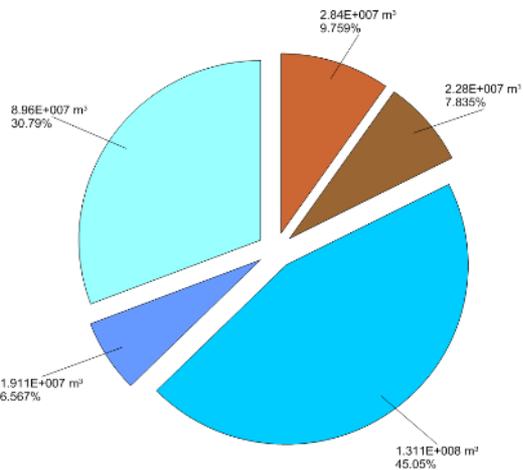
Légende :

- Basaltes Messiniens
- Coniacien-Santonien
- Cénomanién Sup. Turonien
- Cénomanién inf.
- Hautérivién-Barrémién
- Berriasien-Valanginién
- Jurassique supérieur
- Callovién-Oxfordién
- Bathonién Sup.
- Bajocién-Bathonién Inf.
- Lias
- Failles
- Chevauchement

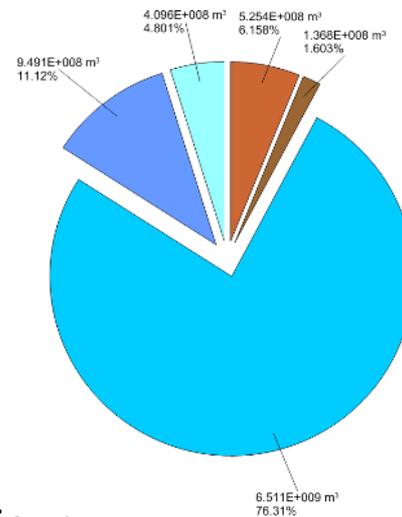


Volumes poreux en zone saturée

Volumes minimums



Volumes maximums



Dolomies du Jurassique supérieur:
 $1,31 \cdot 10^8 \text{ m}^3 < V < 6,51 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

F(x)
 Propriétés
 du réservoir

Projet DARDENNES (2013-2018) : Méthodologie

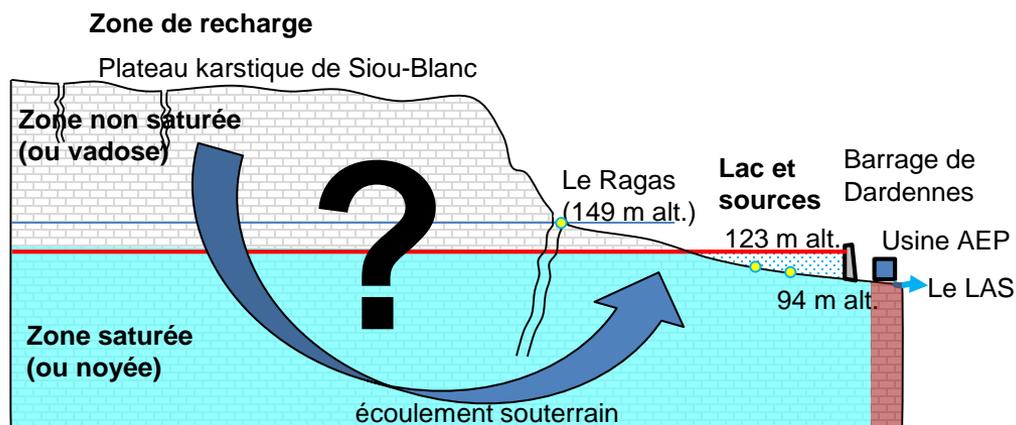
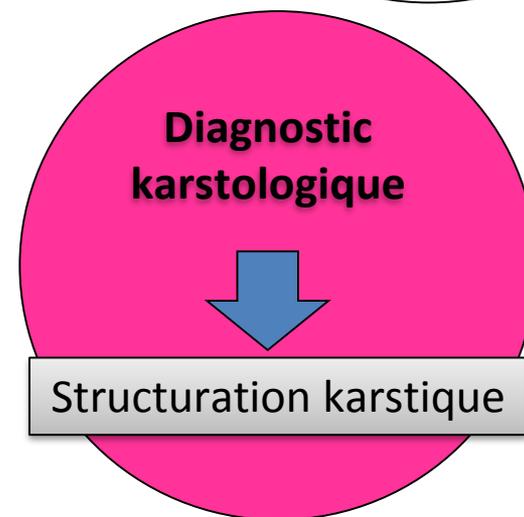
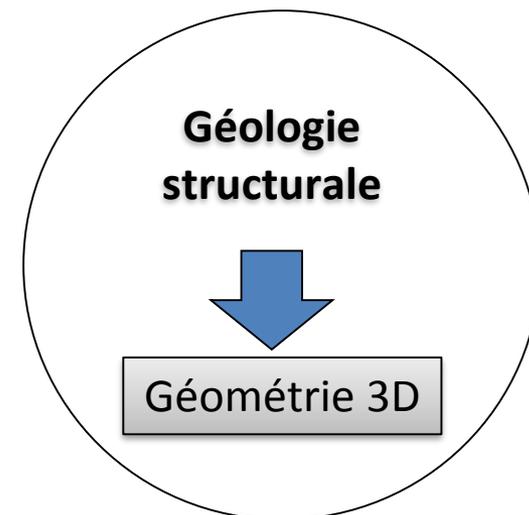


Schéma en coupe (sans échelle)



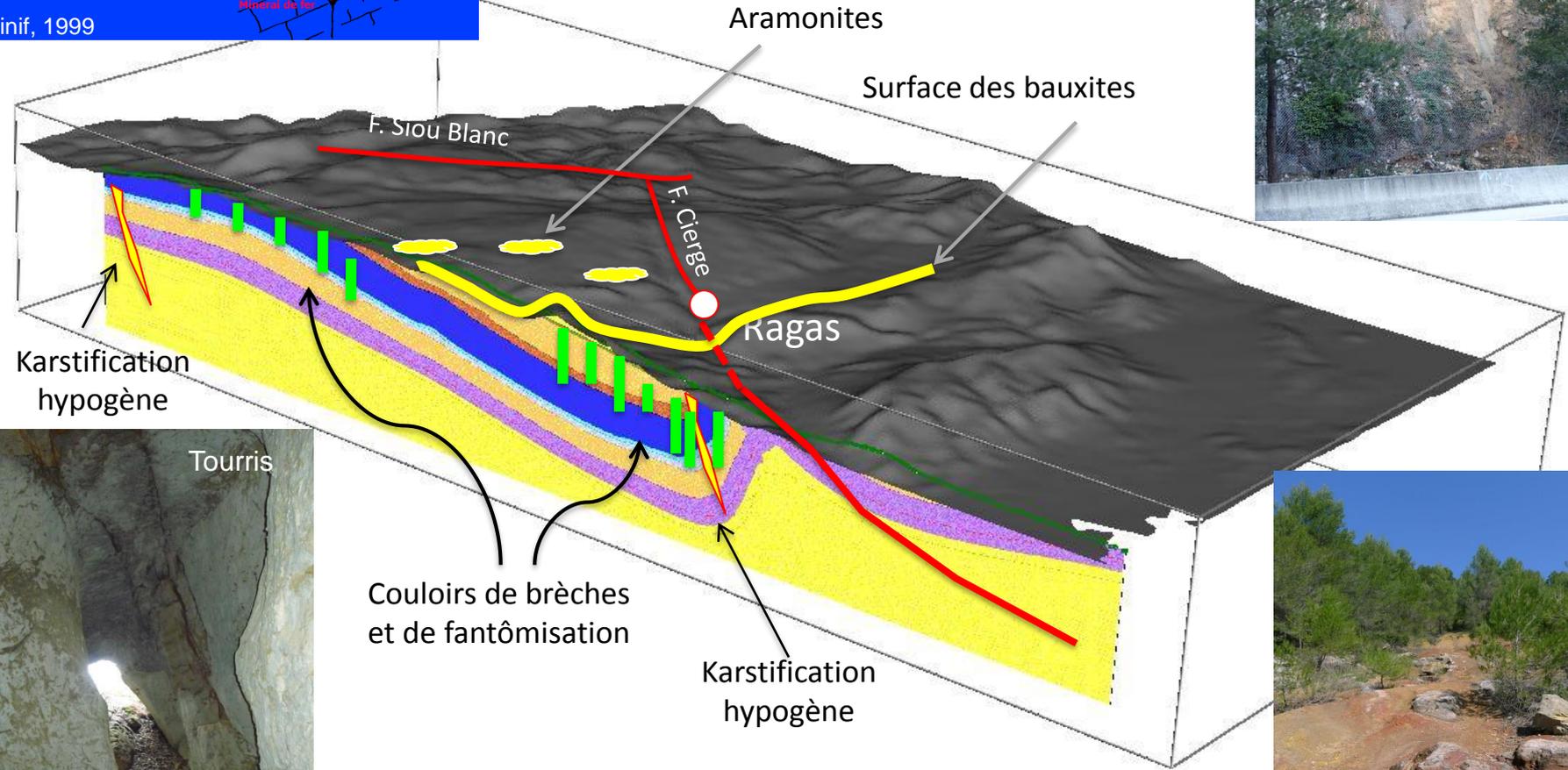
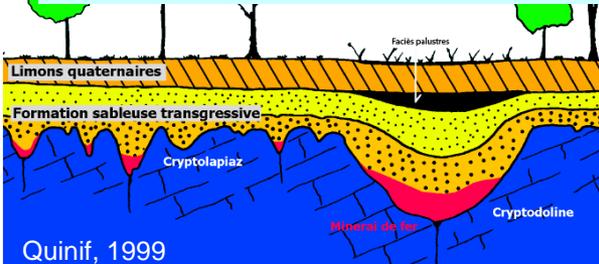
Suivi CTD des sources
Modélisation Pluie-Débit



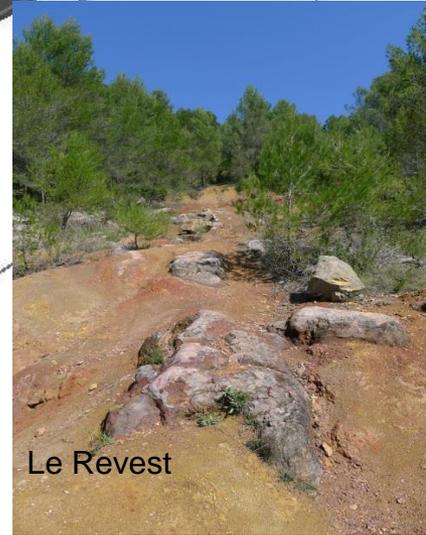
Hydrodynamique
Bilans hydrologiques
Simulation de scénarios

Discontinuités karstiques et altération du réservoir

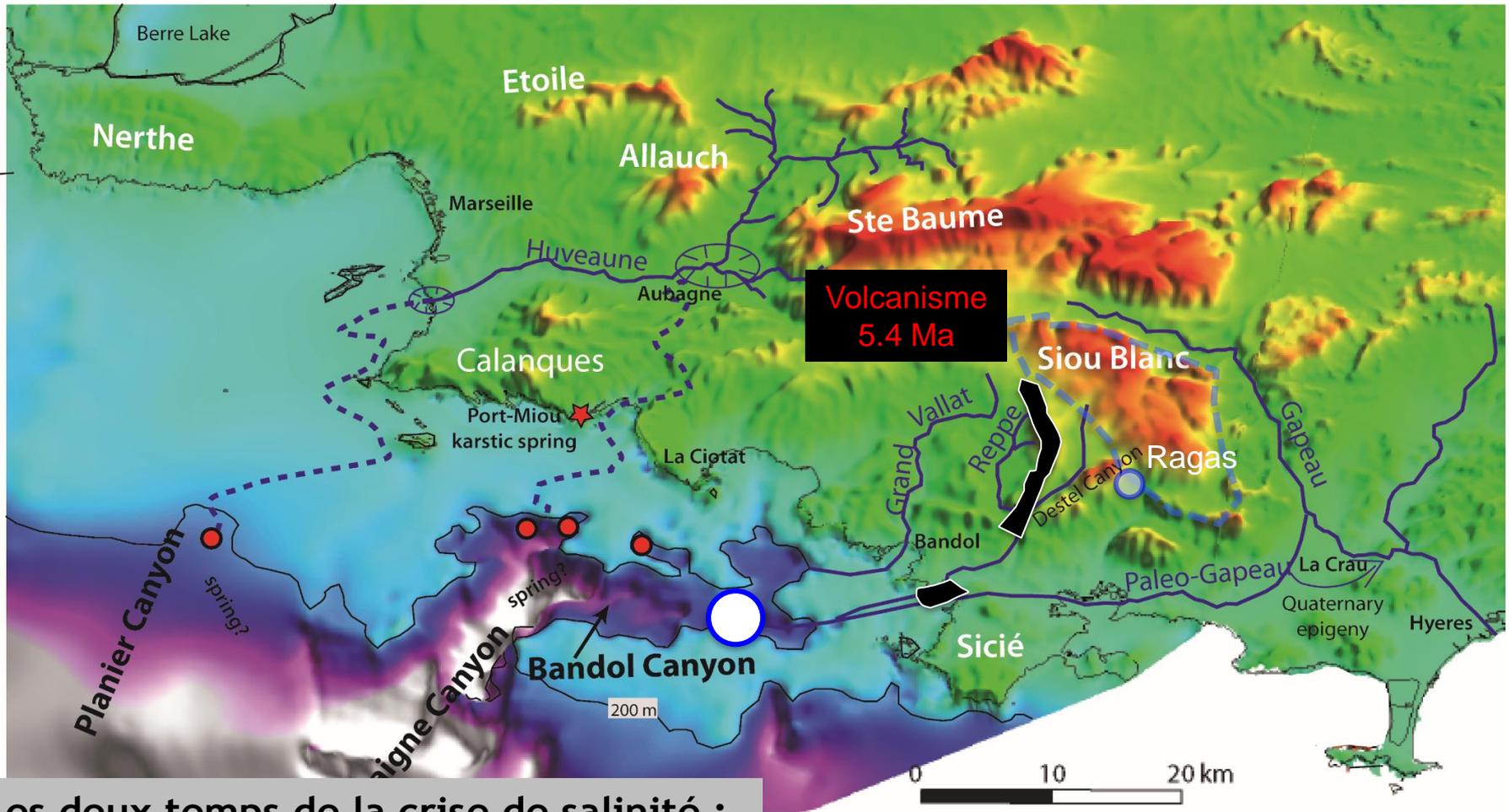
Douard



Discontinuités en profondeur antérieures ou corrélées à la phase pyrénéenne



Réponse karstique au cycle messino-pliocène



Les deux temps de la crise de salinité :

1/ 5.95 - 5.6 Ma 100 m

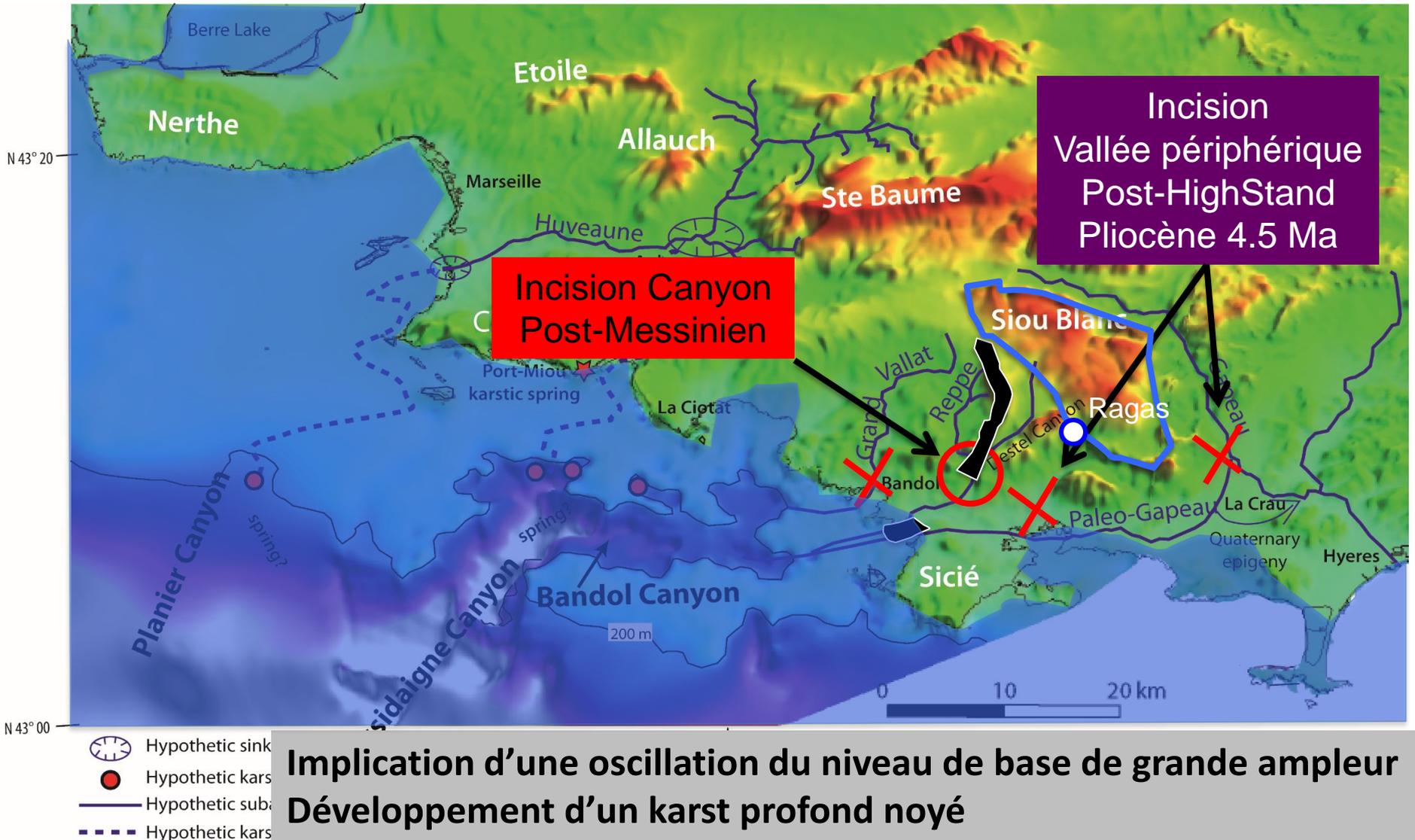
2/ 5.6 - 5.32 Ma 1500 m

Color scale:



Tassy & al. 2014

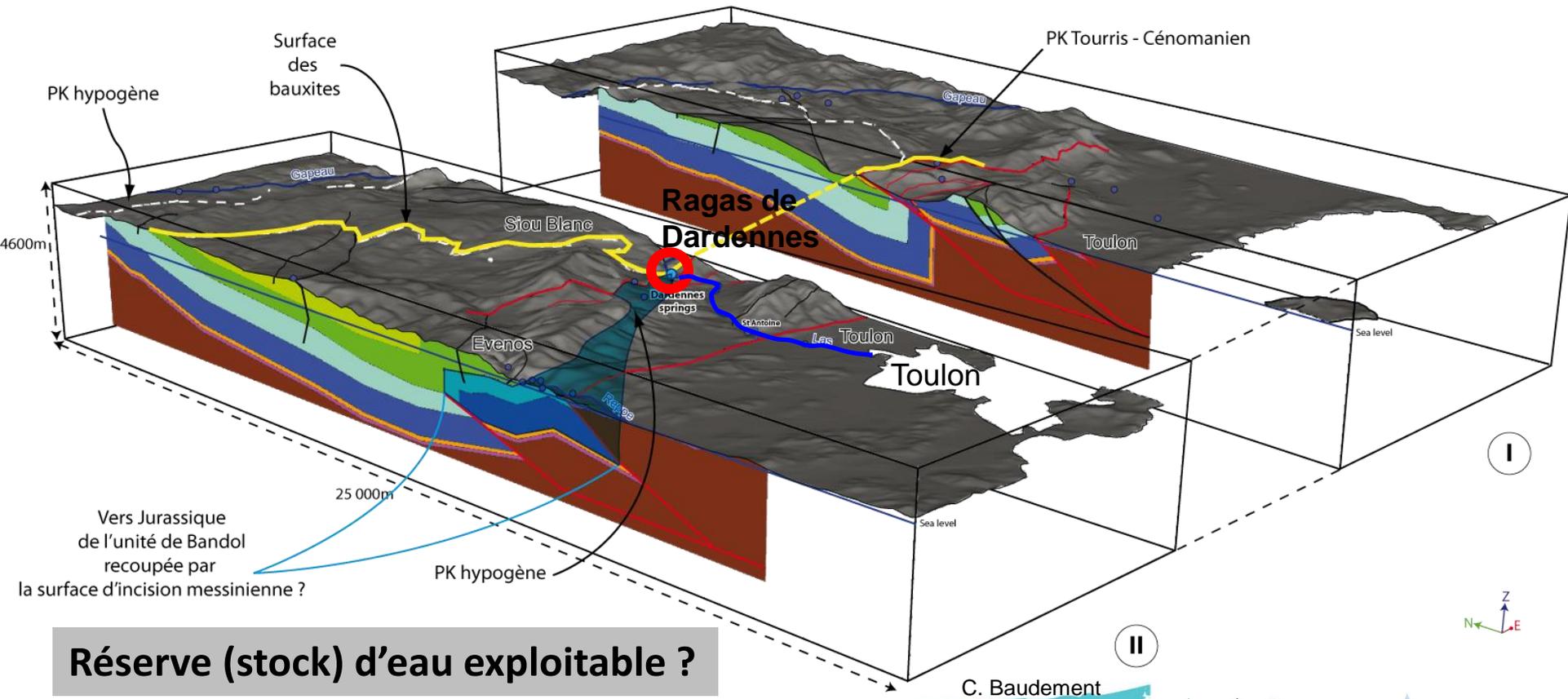
Réponse karstique au cycle messino-pliocène



Lassy & al. 2014

Organisation et entretien de discontinuités en profondeur

Interconnexion entre la zone de recharge et la zone de restitution des eaux



Réserve (stock) d'eau exploitable ?

Projet DARDENNES (2013-2018) : Méthodologie

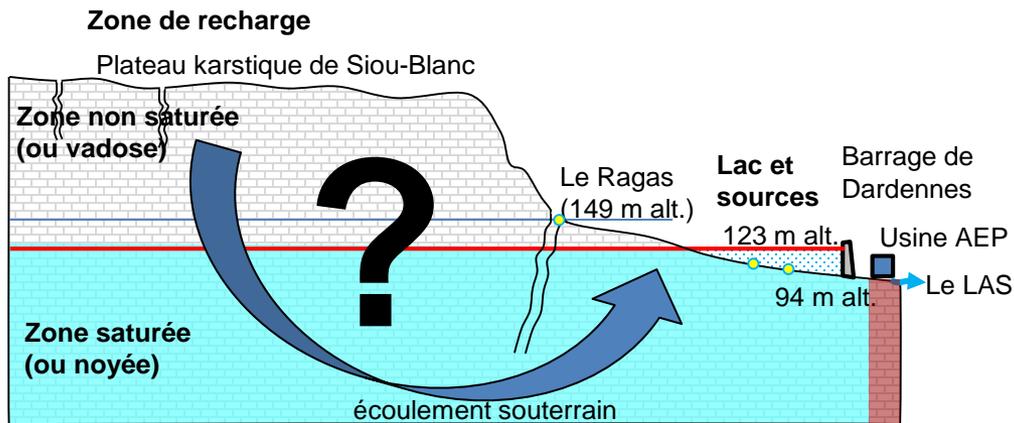


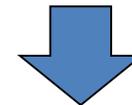
Schéma en coupe (sans échelle)

**Géologie
structurale**



Géométrie 3D

**Diagnostic
karstologique**



Structuration karstique

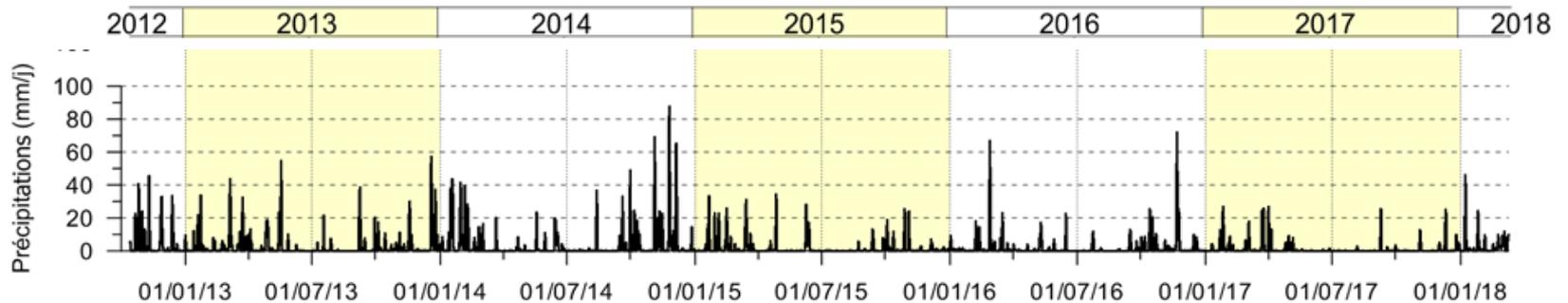
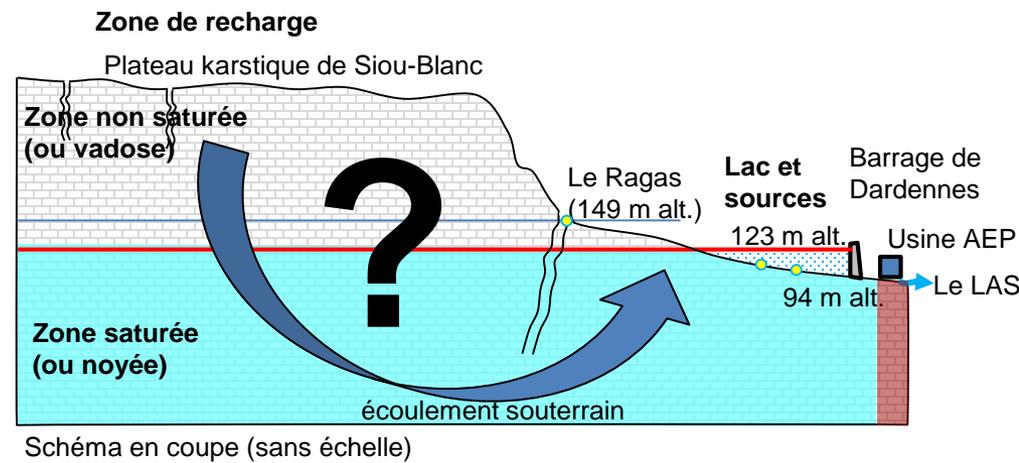
**Suivi CTD des sources
Modélisation Pluie-Débit**



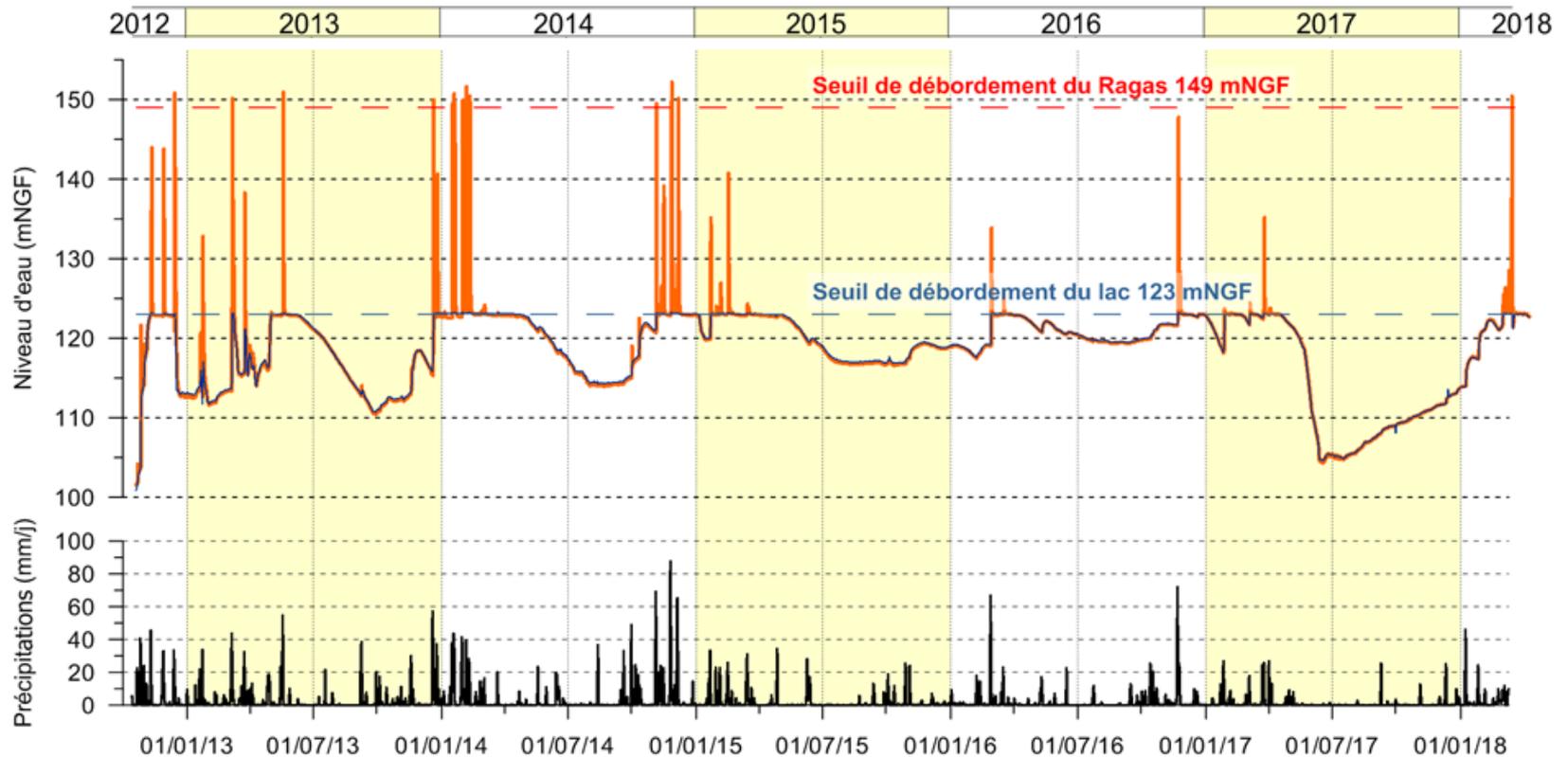
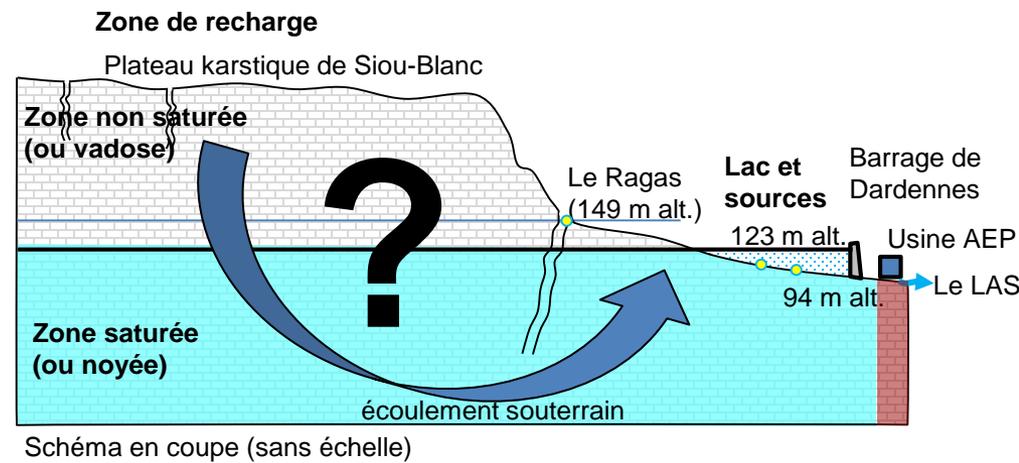
**Hydrodynamique
Bilans hydrologiques
Simulation de scénarios**

Chroniques de pluie, niveau d'eau et débit

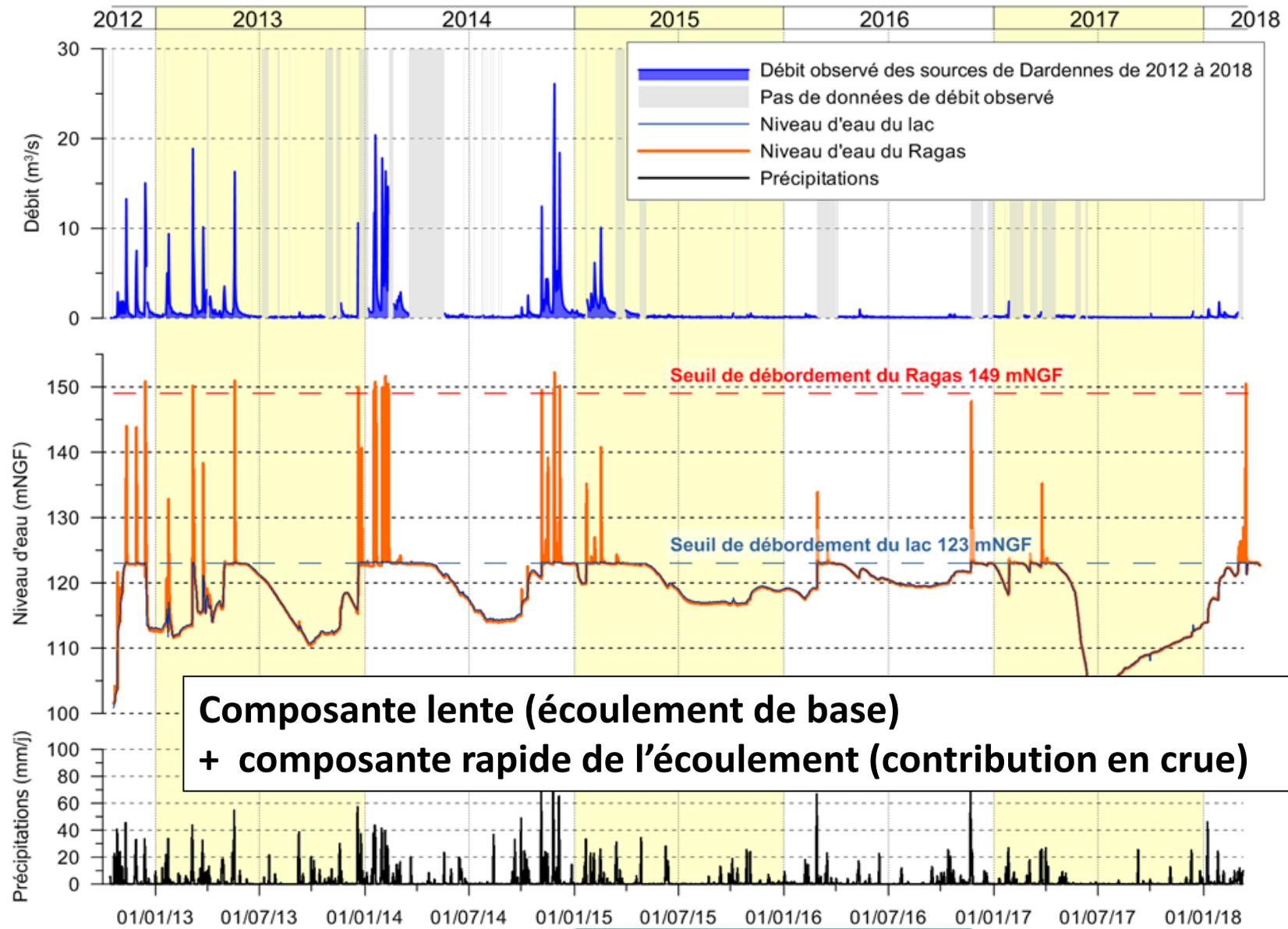
3 pluviomètres



Chroniques de pluie, niveau d'eau et débit

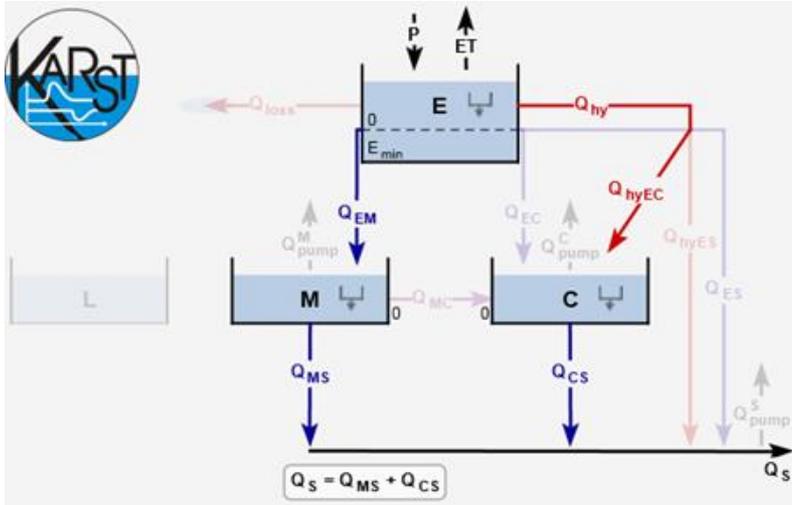


Chroniques de pluie, niveau d'eau et débit



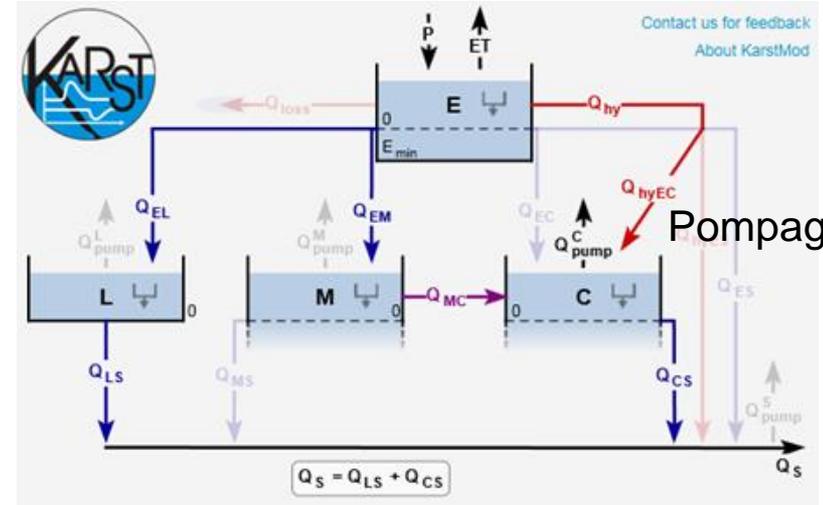
2 modèles

Débit



$$Q_s = Q_{total}$$

Niveau

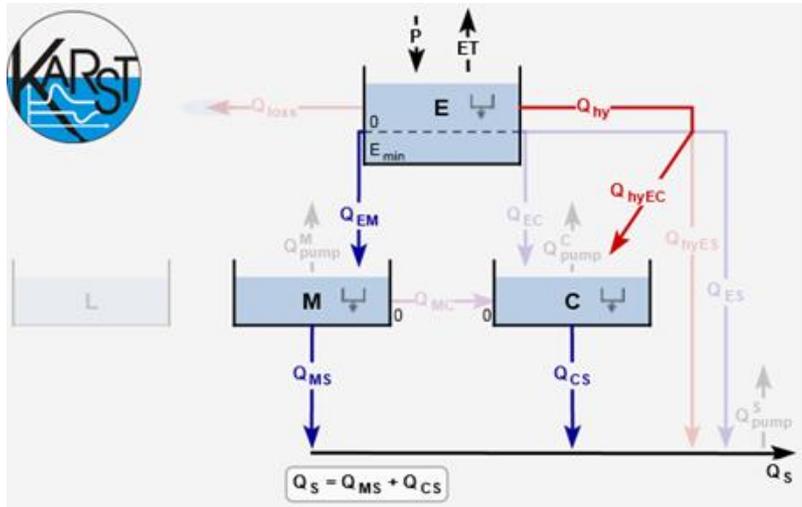


$$Q_s = Q_{Las}$$

Logiciel KarstMod : SO KARST (Service National d'Observation KARST)

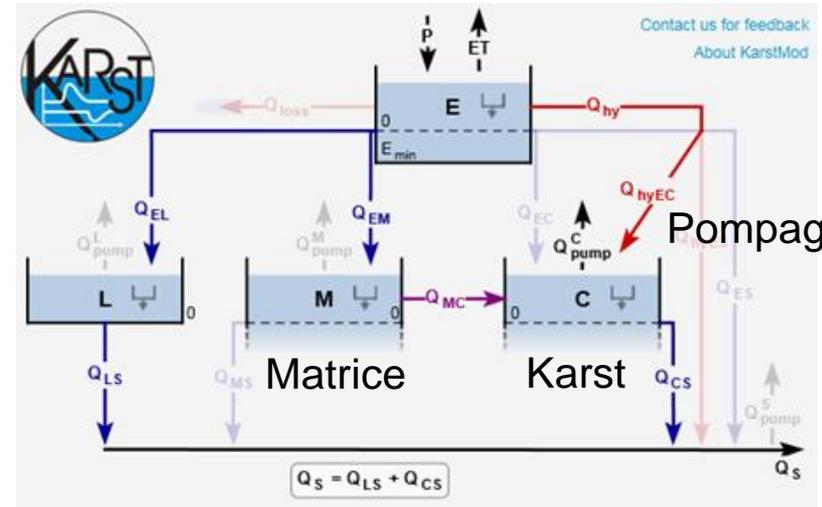
2 modèles

Débit



$$Q_s = Q_{total}$$

Niveau



$$Q_s = Q_{Las}$$

2 objectifs différents

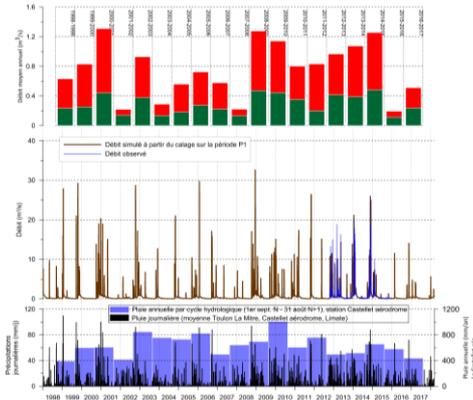
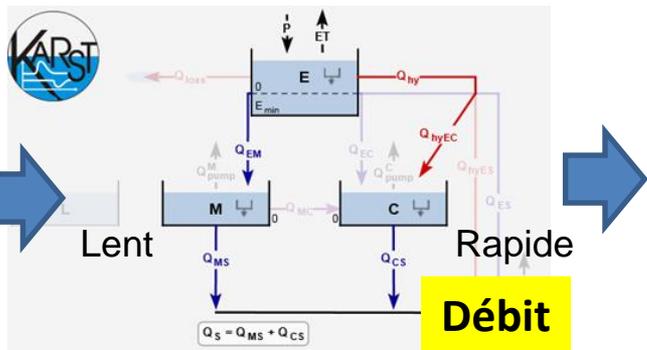
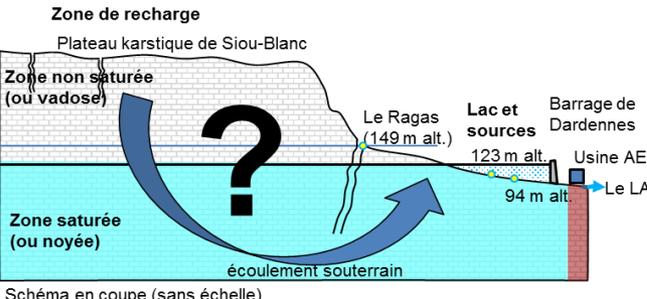
**Composante lente (écoulement de base)
+ composante rapide de l'écoulement
(contribution en crue)**

Simulation du niveau d'eau dans le Ragas
en fonction des prélèvements AEP

Modélisation Pluie-Débit

Déconvolution du signal et débit durable

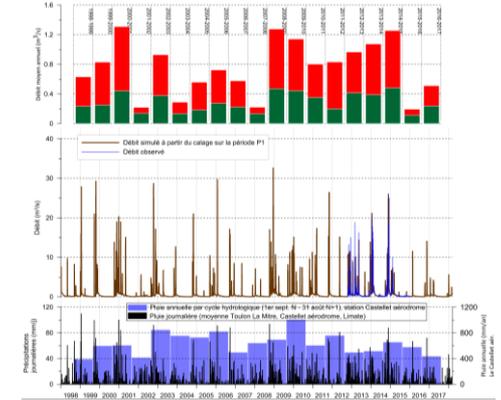
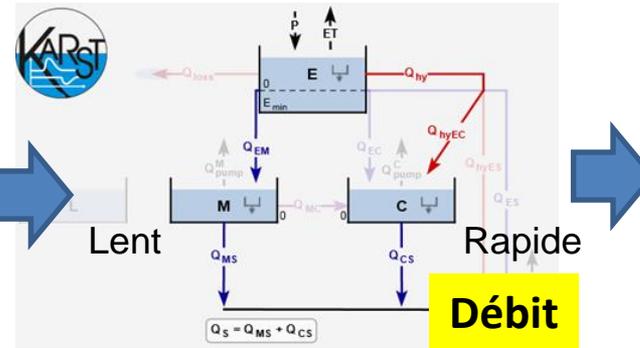
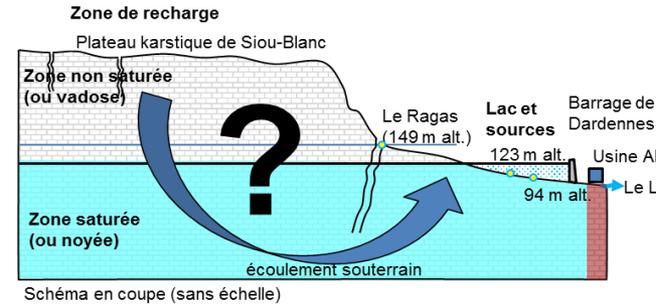
simulations



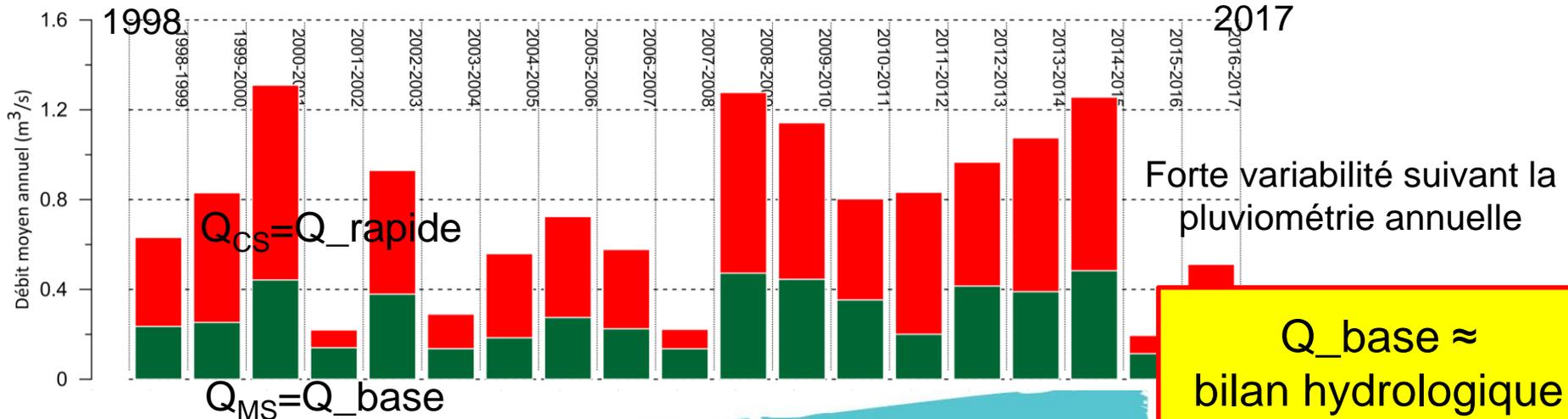
Modélisation Pluie-Débit

Déconvolution du signal et débit durable

simulations



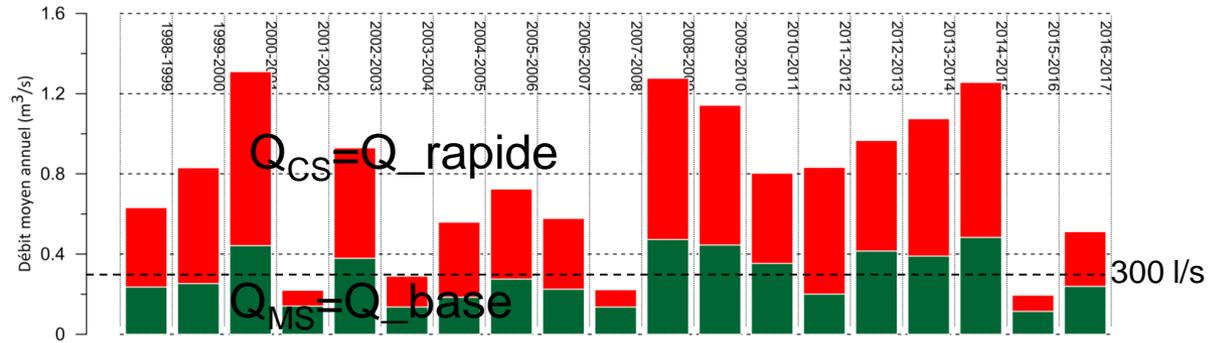
Débit moyen interannuel : $Q_{base} = 0,26 \pm 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{total} = 0,67 \pm 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$



$Q_{base} \approx$
bilan hydrologique
durable

Modélisation Pluie-Débit-Niveau

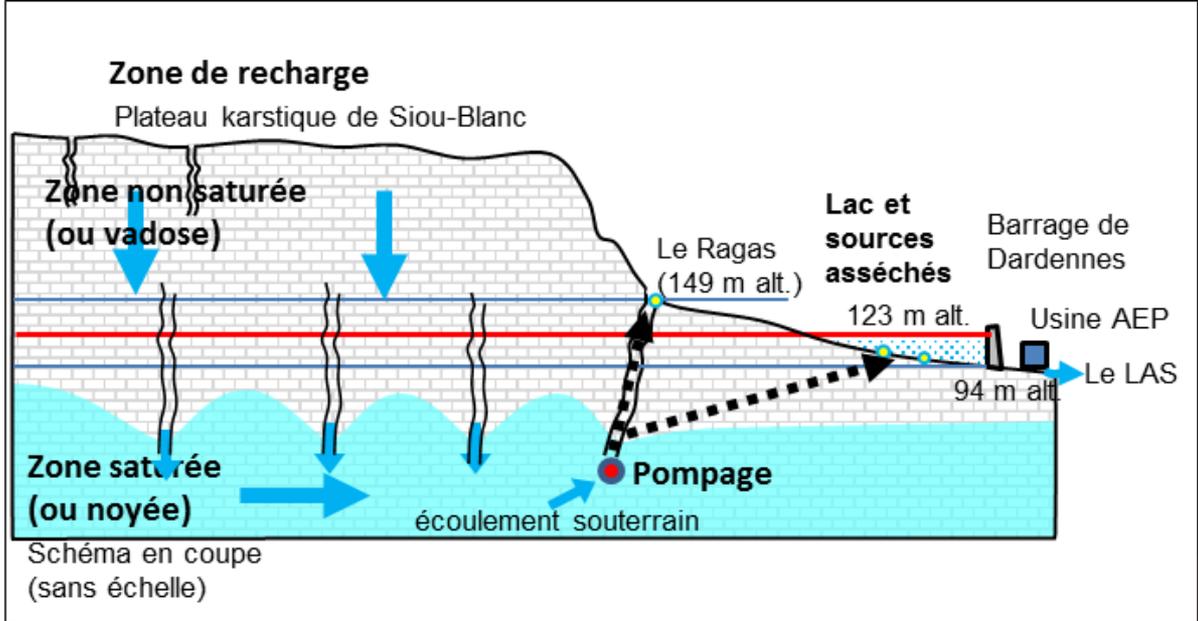
Peut-on prélever plus d'eau sur l'aquifère de Dardennes (à proximité des sources) par pompage ?



En stockant les écoulements rapides dans l'aquifère par diminution du niveau d'eau

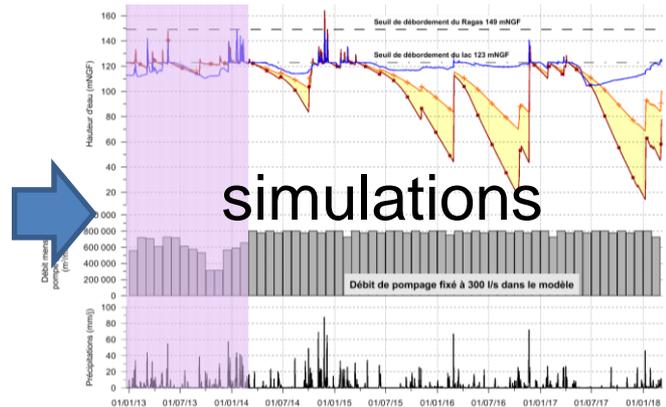
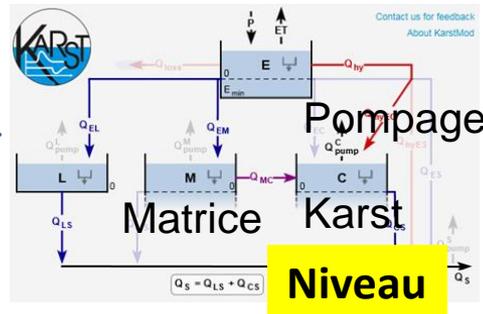
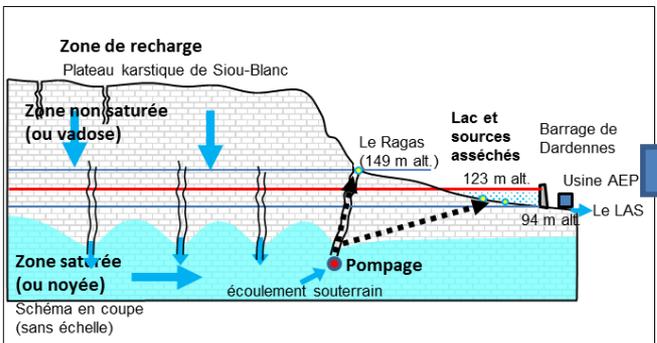


Augmenter la recharge de la nappe par atténuation des crues (écoulement rapide)



Modélisation Pluie-Débit-Niveau

Peut-on prélever plus d'eau sur l'aquifère de Dardennes (à proximité des sources) par pompage ?



Débit prélevé 2012-2018 : ≈ 170 l/s
Simulation : Q pompage constant 300 l/s

Aquifère préalablement déprimé



Un remplissage lors des fortes pluies

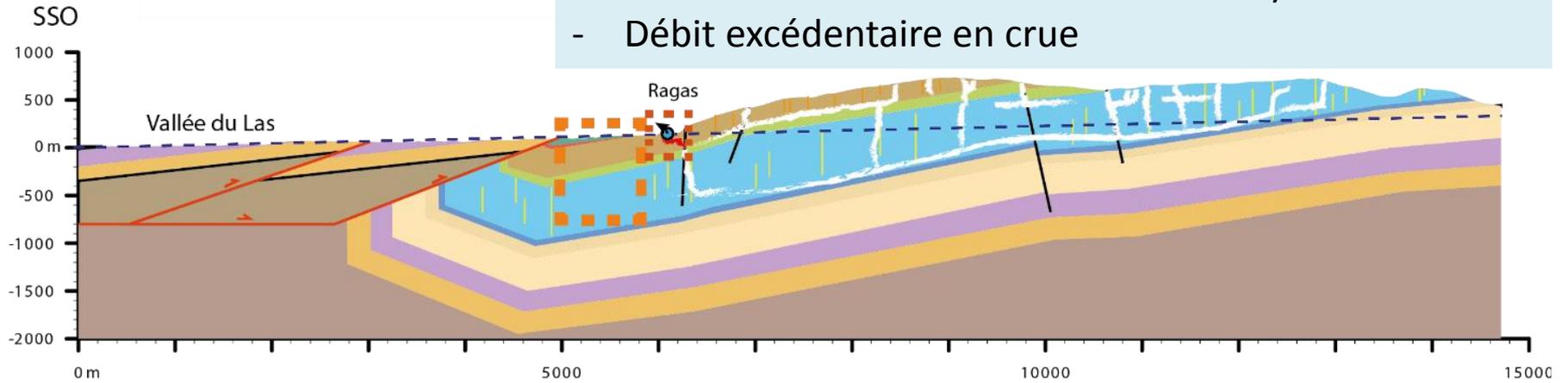
La source vaclusienne force l'aquifère à se recharger par **stockage des écoulements rapides et lents**

Diminution des crues méditerranéennes

Conséquences sur la gestion de la ressource

Bilan hydrologique durable

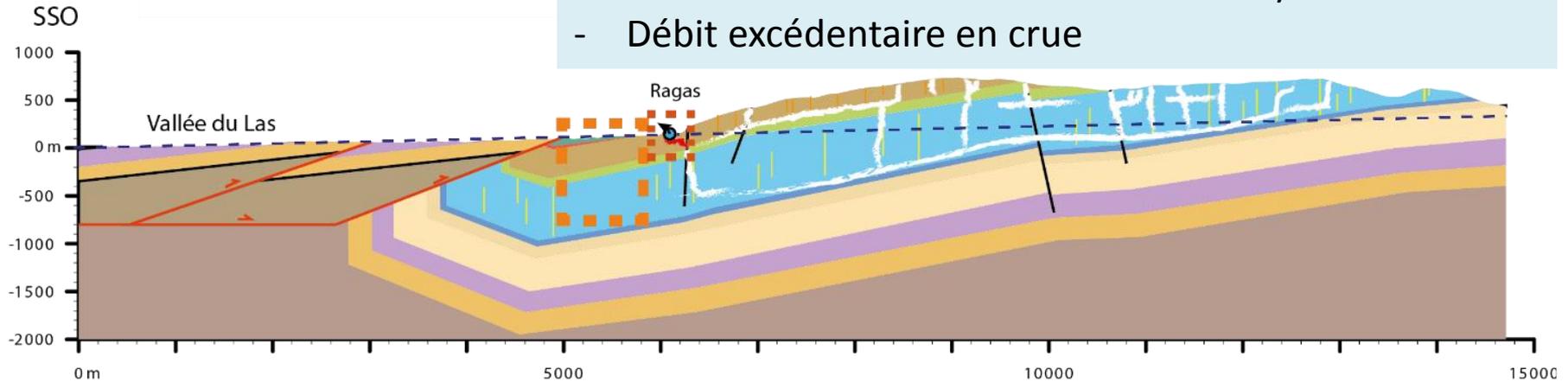
- Débit prélevé 2012-2018 : ≈ 170 l/s
- Débit de base moyen interannuel : environ 300 l/s
- Débit total de certaines années < 300 l/s
- Débit excédentaire en crue



Conséquences sur la gestion de la ressource

Bilan hydrologique durable

- Débit prélevé 2012-2018 : ≈ 170 l/s
- Débit de base moyen interannuel : environ 300 l/s
- Débit total de certaines années < 300 l/s
- Débit excédentaire en crue



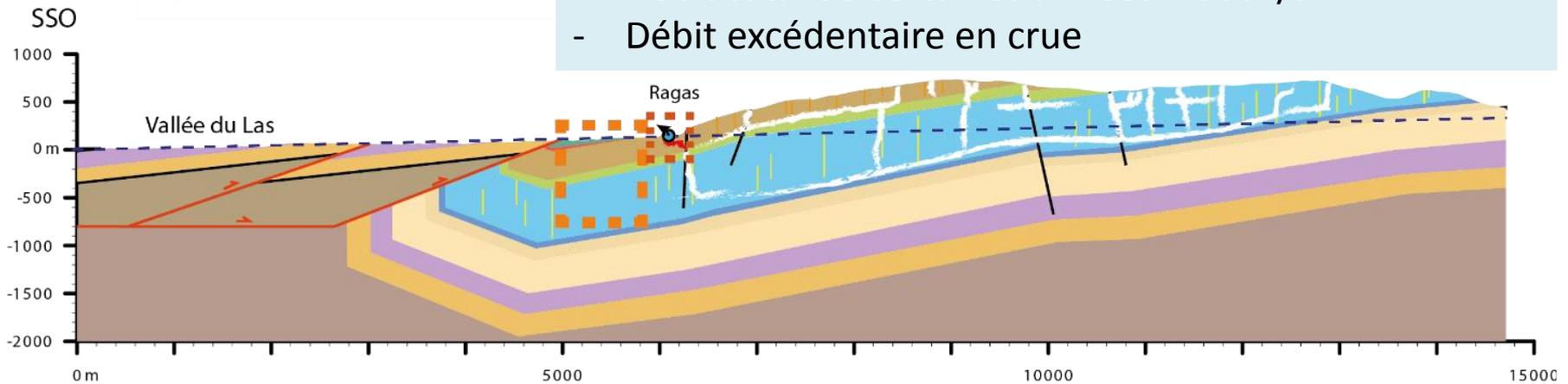
Karst et réservoir

- Forte **connectivité** karstique de la zone de recharge à la source
- **Karst** ouvert et connecté en profondeur
- Réservoir géologique : **jurassique microporeux et fantômisé** + réseau karstique

Conséquences sur la gestion de la ressource

Bilan hydrologique durable

- Débit prélevé 2012-2018 : ≈ 170 l/s
- Débit de base moyen interannuel : environ 300 l/s
- Débit total de certaines années < 300 l/s
- Débit excédentaire en crue



Karst et réservoir

- Forte **connectivité** karstique de la zone de recharge à la source
- **Karst** ouvert et connecté en profondeur
- Réservoir géologique : **jurassique microporeux et fantômisé** + réseau karstique

Réserve en eau

- Stock d'eau souterraine qui dilue et homogénéise la **qualité**
- Stock d'eau **sous l'exutoire** sur plusieurs centaines de mètres de profondeur
- Capacité de **stockage des écoulements rapides** en cas de baisse préalable du niveau de la nappe (et atténuation des crues aux sources)

Ressource en eau stratégique pour le futur :

- Réserve en profondeur
- Forte capacité de recharge
- Impluvium avec occupation du sol naturelle



Actions :

Prélèvement par pompage

Gestion active

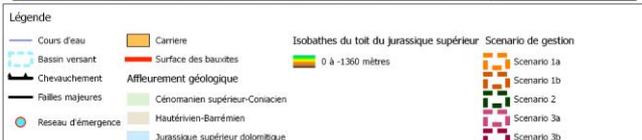
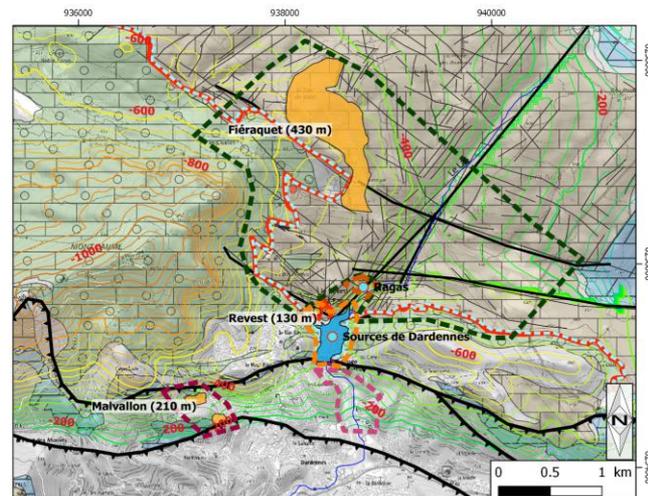
Maintenir une protection naturelle

Ressource en eau stratégique pour le futur :

- Réserve en profondeur
- Forte capacité de recharge
- Impluvium avec occupation du sol naturelle

Actions :

- ➔ Prélèvement par pompage
- ➔ Gestion active
- ➔ Maintenir une protection naturelle



Etude structuration karstique et hydrogéologie



Propositions de scénarios

Merci de votre attention

Documents à télécharger sur www.karsteau.fr

+ logiciel karstmod : www.sokarst.org

