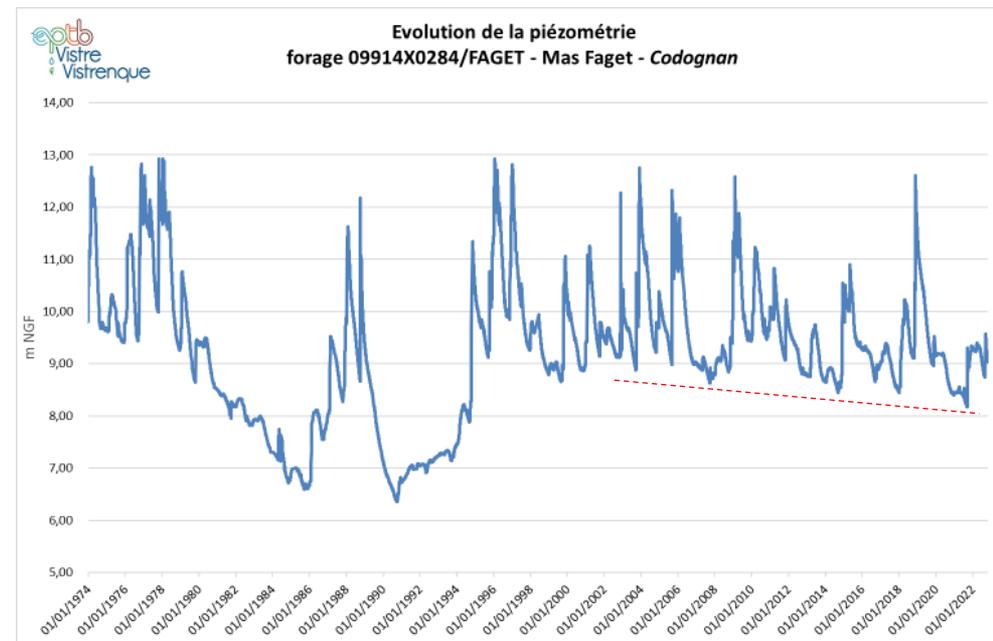


ETUDE DE MODELISATION DE LA NAPPE DE LA VISTRENQUE



- Constats :
Un territoire riche en eau
Tendance à la baisse du niveau des nappes
- Le besoin d'apporter des réponses sur la capacité des nappes à **continuer à satisfaire les besoins dans un contexte de changement climatique**



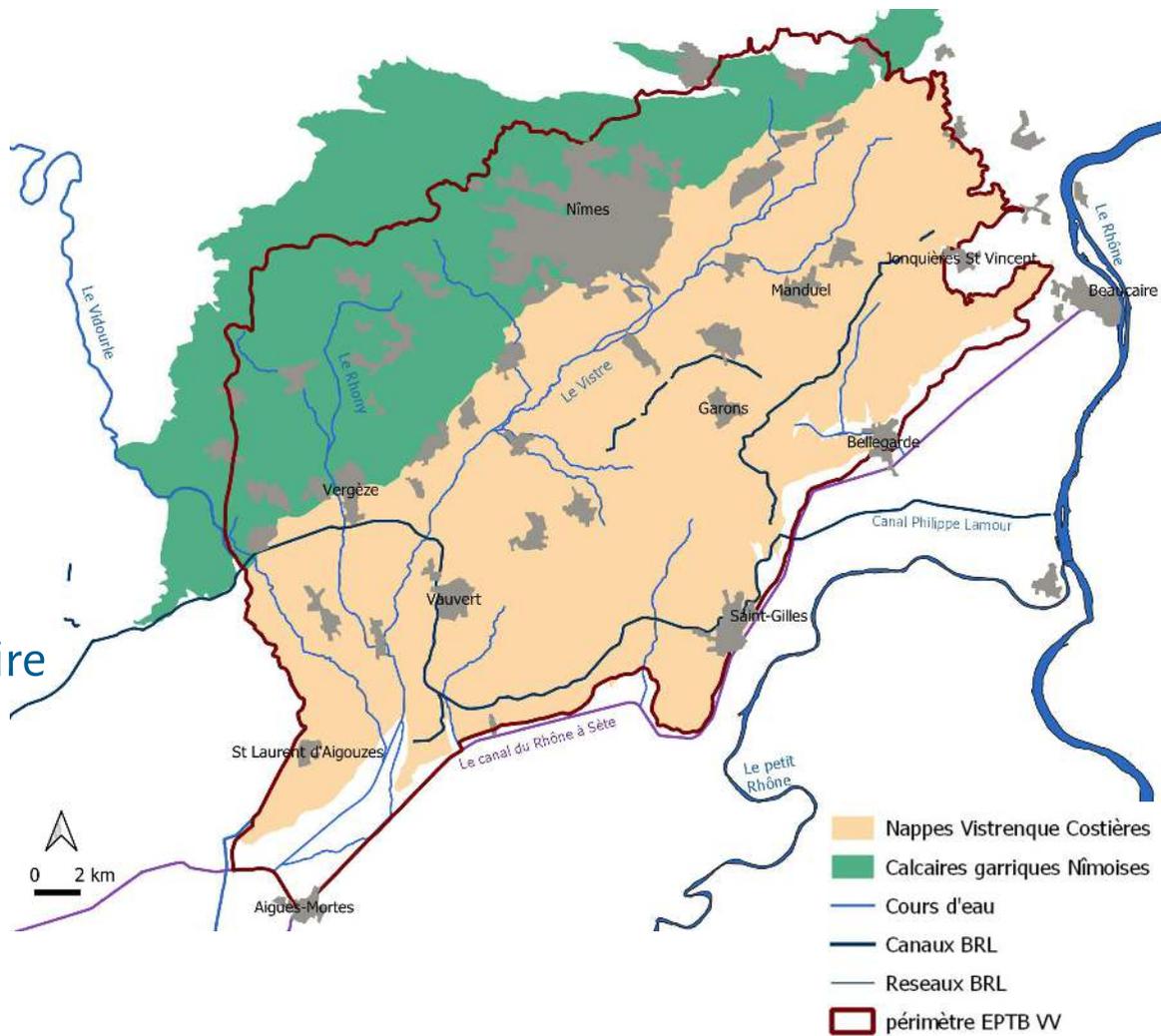
- **Un objectif de préserver l'équilibre quantitatif des nappes** (Directive Cadre de l'Eau)



Réflexions vers une démarche de gestion de la ressource en eau

LE PERIMETRE HYDROGEOLOGIQUE

- 2 grands réservoirs d'eau souterraine :
 - **Alluvions du Villafranchien (529 km²)**
 - Aquifère karstique des garrigues Nîmoises
- 42 % de l'eau potable du territoire du SAGE provient des nappes Vistrenque et Costières
- Des eaux salées à l'aval



Un modèle pour quoi faire ?

- **Améliorer la compréhension du fonctionnement de la nappe :**
 - Mieux comprendre la recharge et les relations avec les autres réservoirs (bilan hydrologique)
- **Effectuer des simulations pour anticiper le futur :**
 - période de très basses eaux (début année 80)
 - période sans pluie, quelles conséquences sur les usages ?
- **Outil d'aide à la décision**
- **Outil pour la mise en place d'une gestion durable de la ressource**



Gestion structurelle

Adopter des mesures de gestion à long terme (changement climatique, impacts socio-économiques ...)

Gestion conjoncturelle

Définir de seuils de référence pour la gestion de la sécheresse

Planning

Etude
hydrogéologiques
Phase 1

Aout 2022 à février 2024

Construction du modèle
et test scénario
Phase 2

Juillet 2024 à février 2025

Présentation des
résultats en CLE

Fin 2025

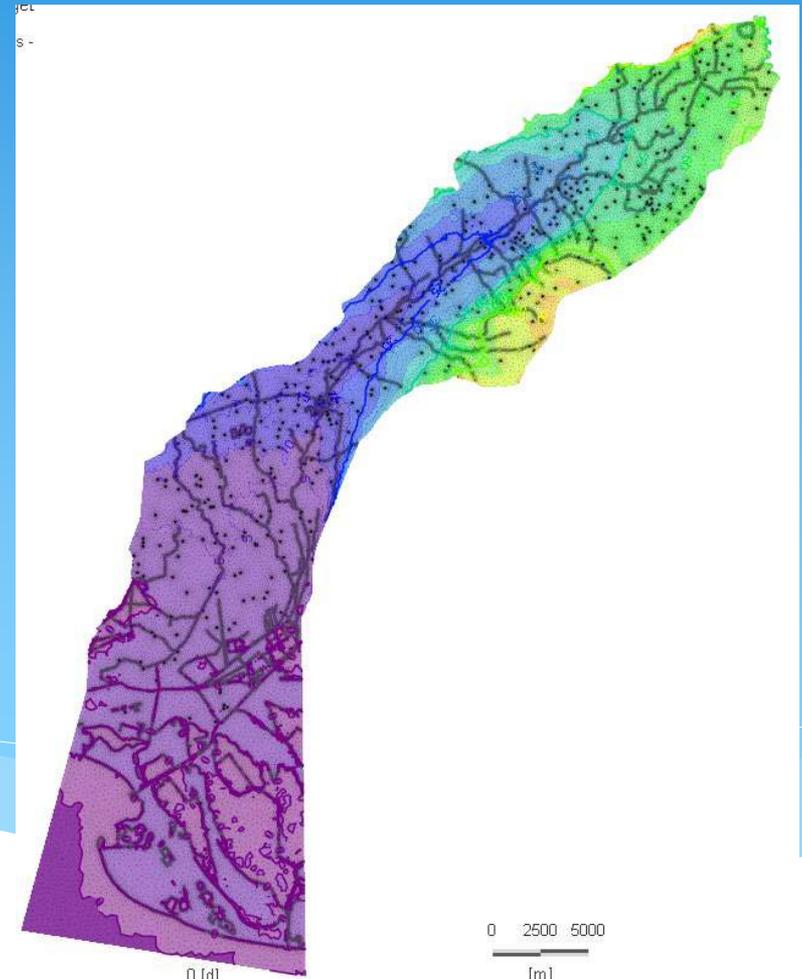


Investigations hydrogéologiques et modélisation de la nappe de la Vistrenque

Avancement de l'étude
Séminaire SAGE
12 septembre 2024

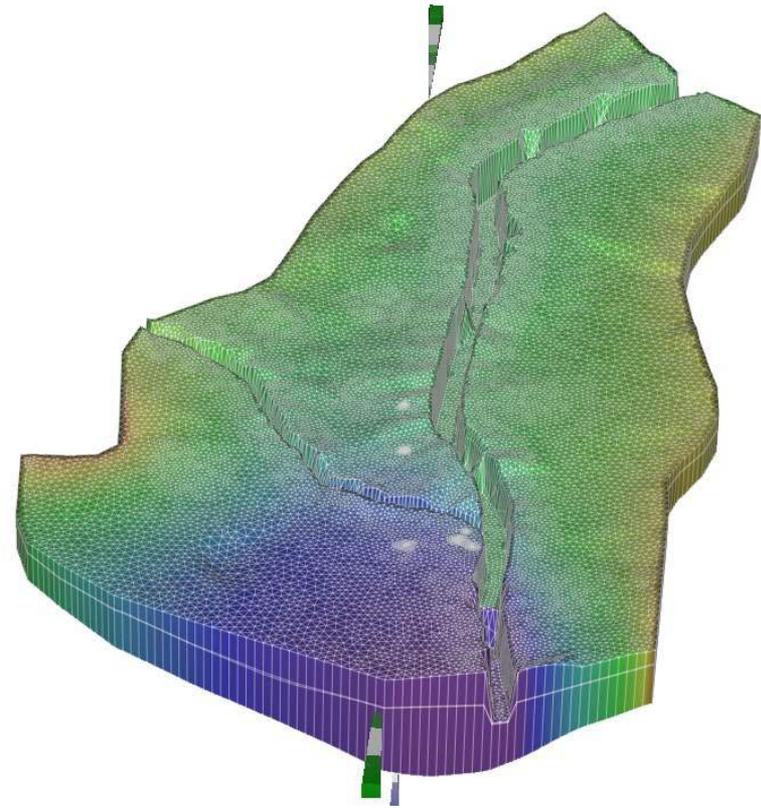
Mandataire : ARTESIE

Sous-traitants : HYDRAUDIAG,
LURO FORAGES, BRANTE FORAGES



Un **modèle** est une représentation simplifiée de la réalité.

1. Reconstituer, pour mieux la comprendre, une représentation de son fonctionnement actuel avec un niveau de précision suffisant,
2. Simuler son fonctionnement dans des configurations futures (ou passées) en en modifiant volontairement certaines données / hypothèses d'entrée.



Modélisation mathématique

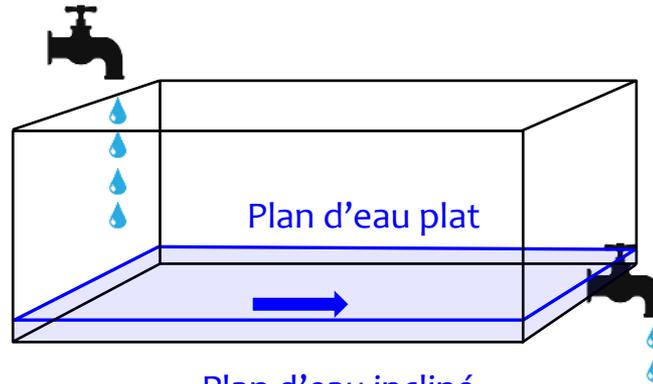


Objectifs :

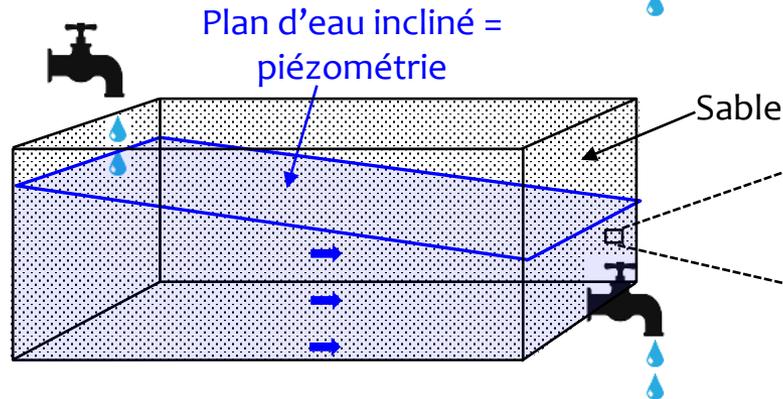
1. Améliorer la connaissance et la gestion de la nappe en temps réel : mieux connaître les zones d'alimentation des captages AEP, pouvoir mieux répondre aux questions immédiates qui se posent : soutenabilité de projets locaux ou régionaux ...
2. Simuler les conséquences sur la nappe des évolutions prévisibles :
 - Très basses eaux exceptionnelles
 - changement climatique et remontée du niveau marin
 - modifications des pressions humaines (évolution des prélèvements, artificialisation des sols, ...)
 - effets des mesures de reconquête de la qualité de l'eau à l'échelle d'un captage (nitrates)
 - Etre capable d'adopter des mesures de gestion de long terme adaptées

Qu'est-ce qu'une nappe et quels paramètres cherche-t-on à modéliser ?

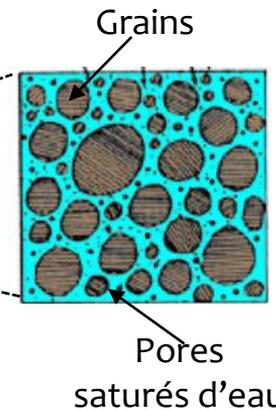
Aquarium rempli d'eau :
débit d'entrée =
débit de sortie



Modèle analogique d'une
nappe : aquarium rempli de
matériau granulaire (ex : sable)
et d'eau :
débit d'entrée =
débit de sortie



**Nappe de la
Vistrenque = eau
contenue dans les
pores des sables et
graviers (alluvions)**
*(et non pas une « rivière »
ou un « lac » souterrain)*



Le plan d'eau est incliné car le sable exerce une **résistance à l'écoulement** qui dépend :

- de la taille des pores entre les grains
- de l'homogénéité des grains

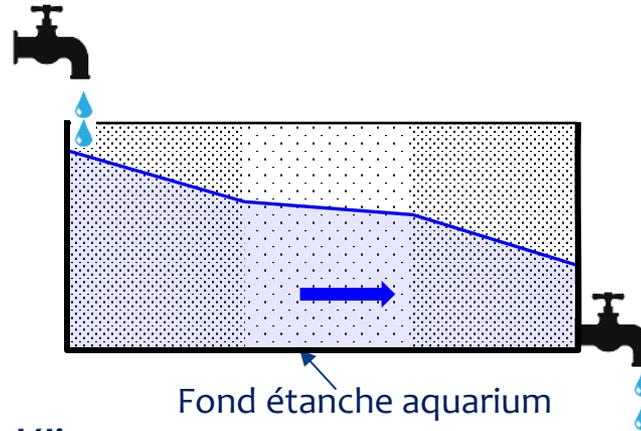
**Aquifère = formation
géologique contenant
l'eau de la nappe (ici
le sable)**

Modélisation mathématique

Pour construire un modèle, il faut renseigner/connaître plusieurs types de données (principalement) :

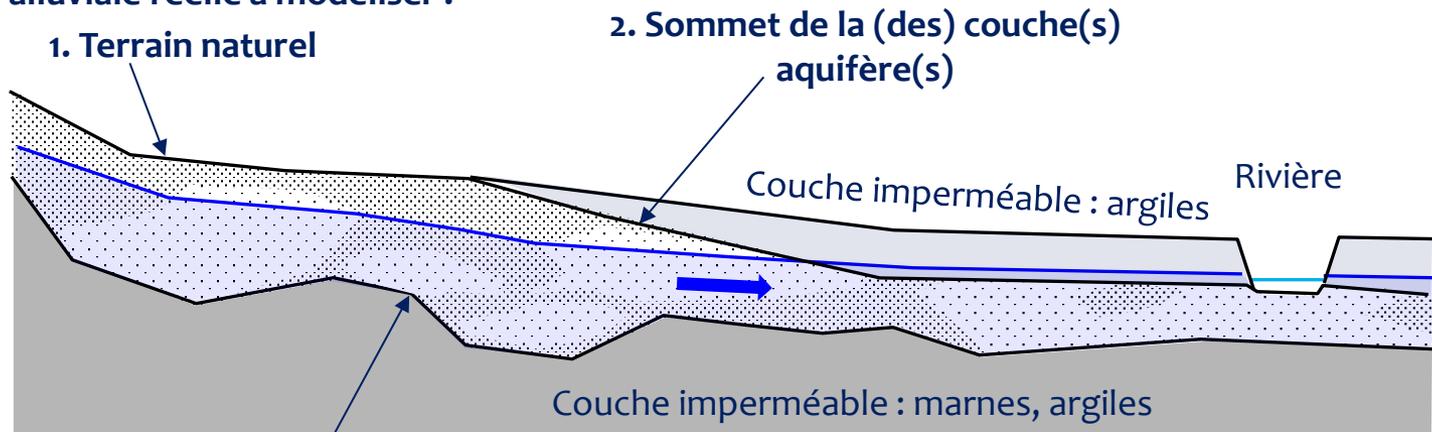
Groupe de données n°1 : géométrie de l'aquifère :

Schéma simplifié :



Fond étanche aquarium

Nappe alluviale réelle à modéliser :



3. Substratum = « fond » imperméable retenant la nappe

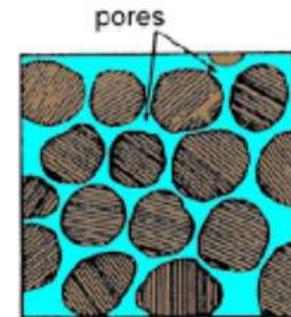
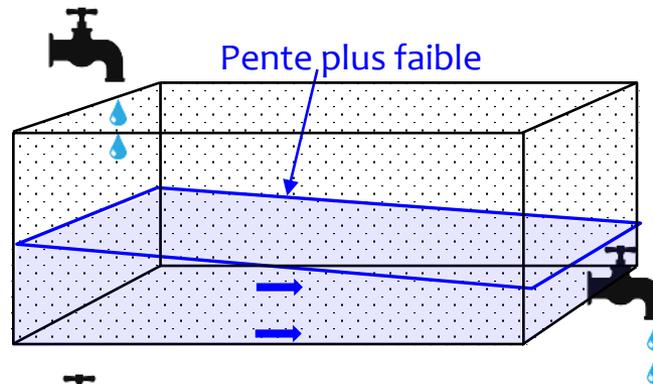
Si plusieurs nappes à superposer : 2. et 3. pour chaque nappe

Groupe de données n°2 - les perméabilités du réservoir aquifère :

La **perméabilité à l'eau** mesure la faculté d'un matériau à se laisser traverser par l'eau selon une vitesse plus ou moins grande

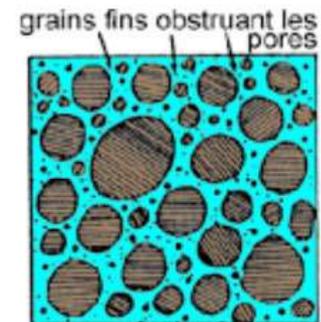
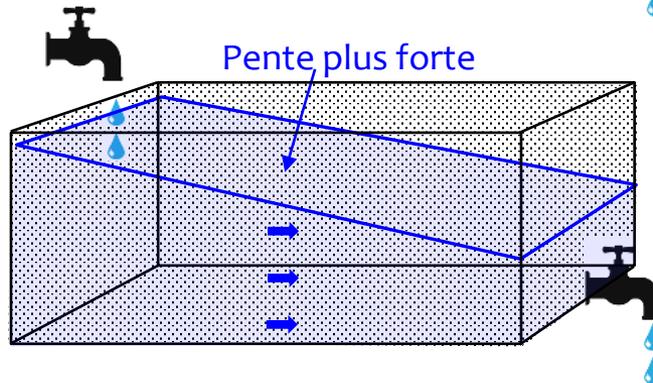
Gravier ou sable grossier et homogène :

Perméabilité plus élevée
(vitesse de l'eau plus élevée car résistance à l'écoulement plus faible)



Sable fin et/ou hétérogène :

Perméabilité plus faible
(Vitesse de l'eau plus faible car résistance à l'écoulement plus forte)

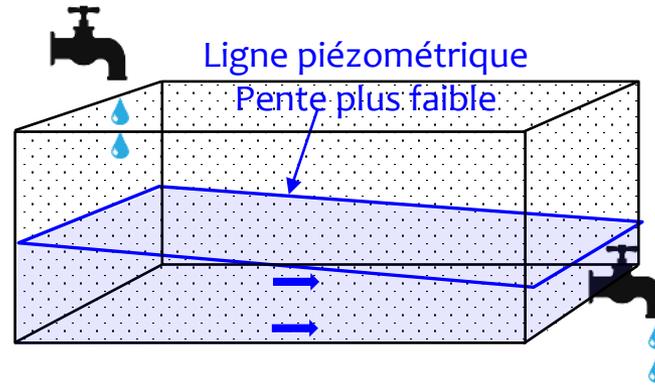
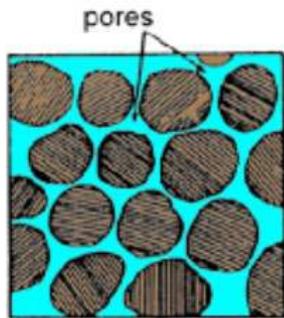


Chaque matériau contenant l'eau de la nappe est doté d'une perméabilité à l'eau qui lui est propre et va conditionner la vitesse de déplacement de l'eau en sous-sol.

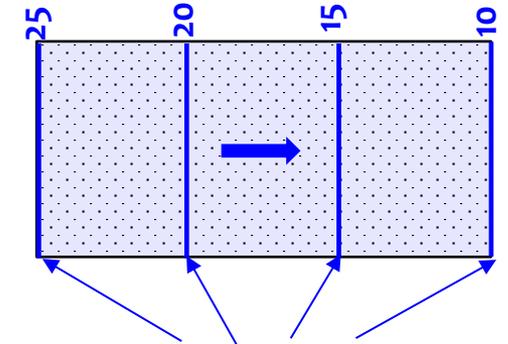
Modélisation mathématique

Groupe de données n°3 – les courbes piézométriques (= isopièzes) :

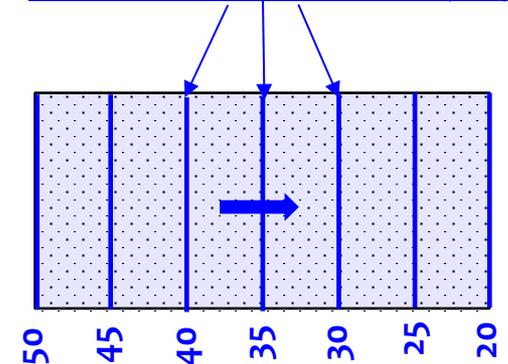
Sable grossier ou gravier homogène : **perméabilité plus élevée**



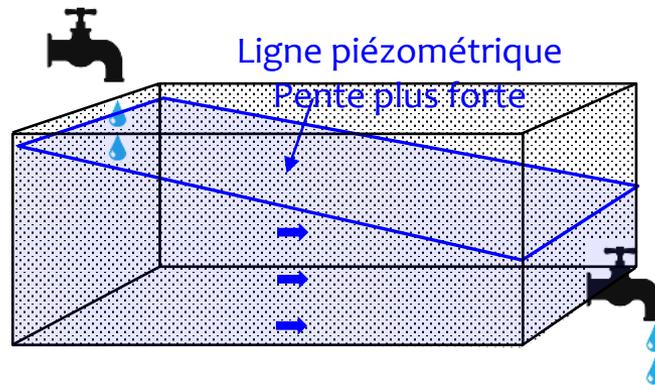
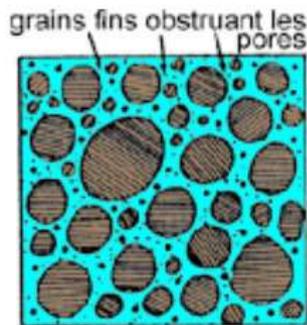
Vue de dessus (carte piézométrique) :



Isopièzes = courbes d'égalles hauteurs du niveau d'eau (cm)



Sable fin et/ou hétérogène : **perméabilité plus faible**



Perméabilité plus élevée (moins de résistance) → Courbes piézométriques moins resserrées

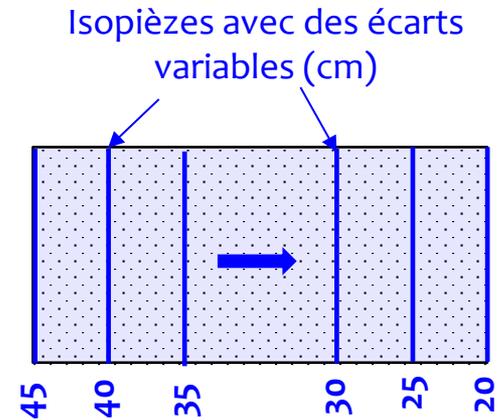
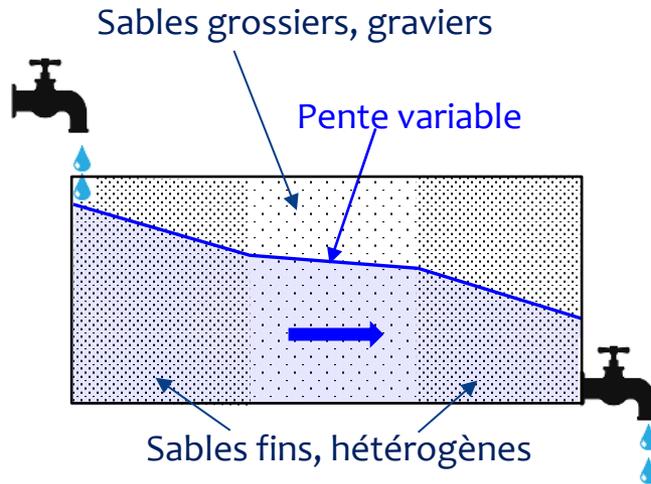
Perméabilité plus faible (plus de résistance) → Courbes piézométriques plus resserrées

Modélisation mathématique

Groupe de données n°3 – les courbes piézométriques (= isopièzes) :

En réalité : matériau naturel hétérogène : **perméabilité variable**

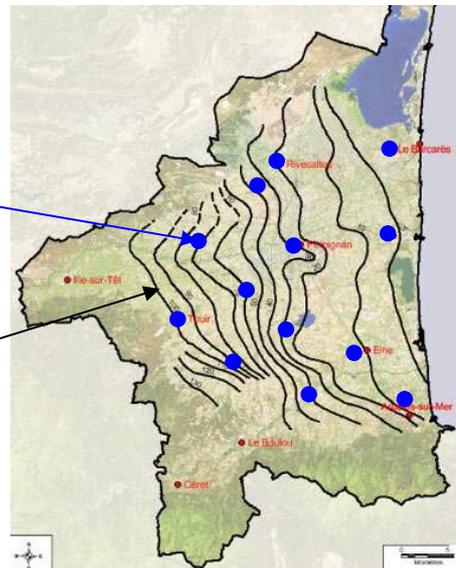
Vue de dessus (carte piézométrique) :



Exemple de carte piézométrique :

Données : niveaux d'eau mesurés dans des forages / puits / sources / piézomètres

Isopièzes interpolés



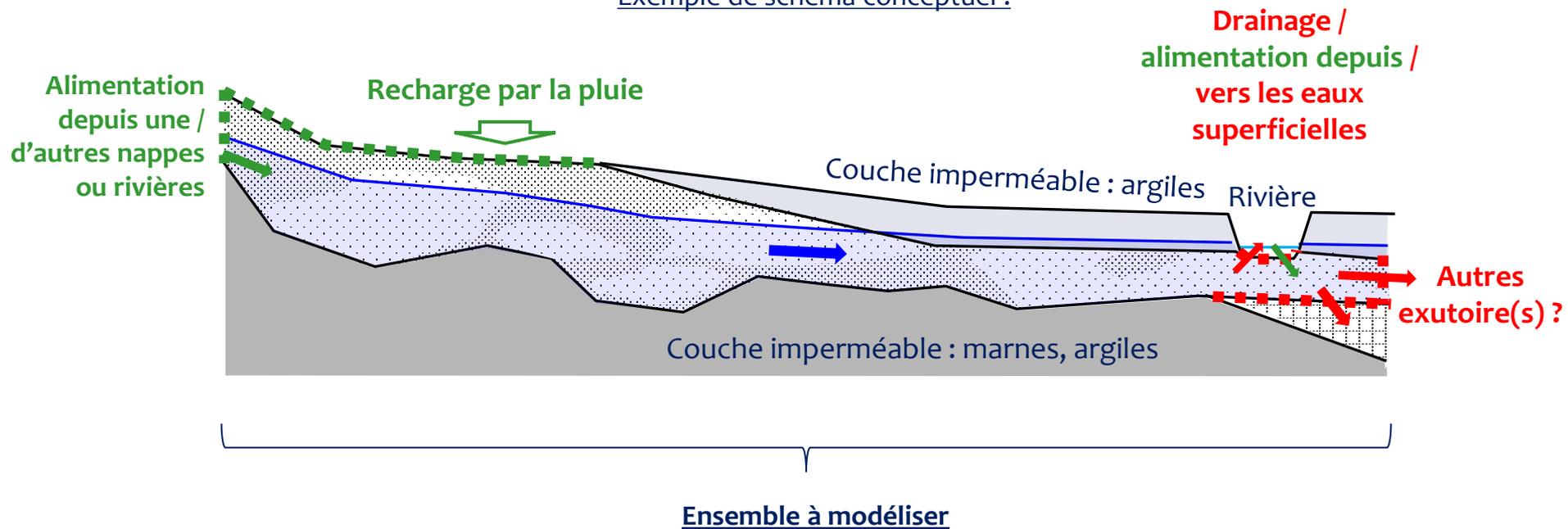
→ Les données piézométriques (niveaux de nappe) permettent de préciser la répartition des perméabilités

Modélisation mathématique

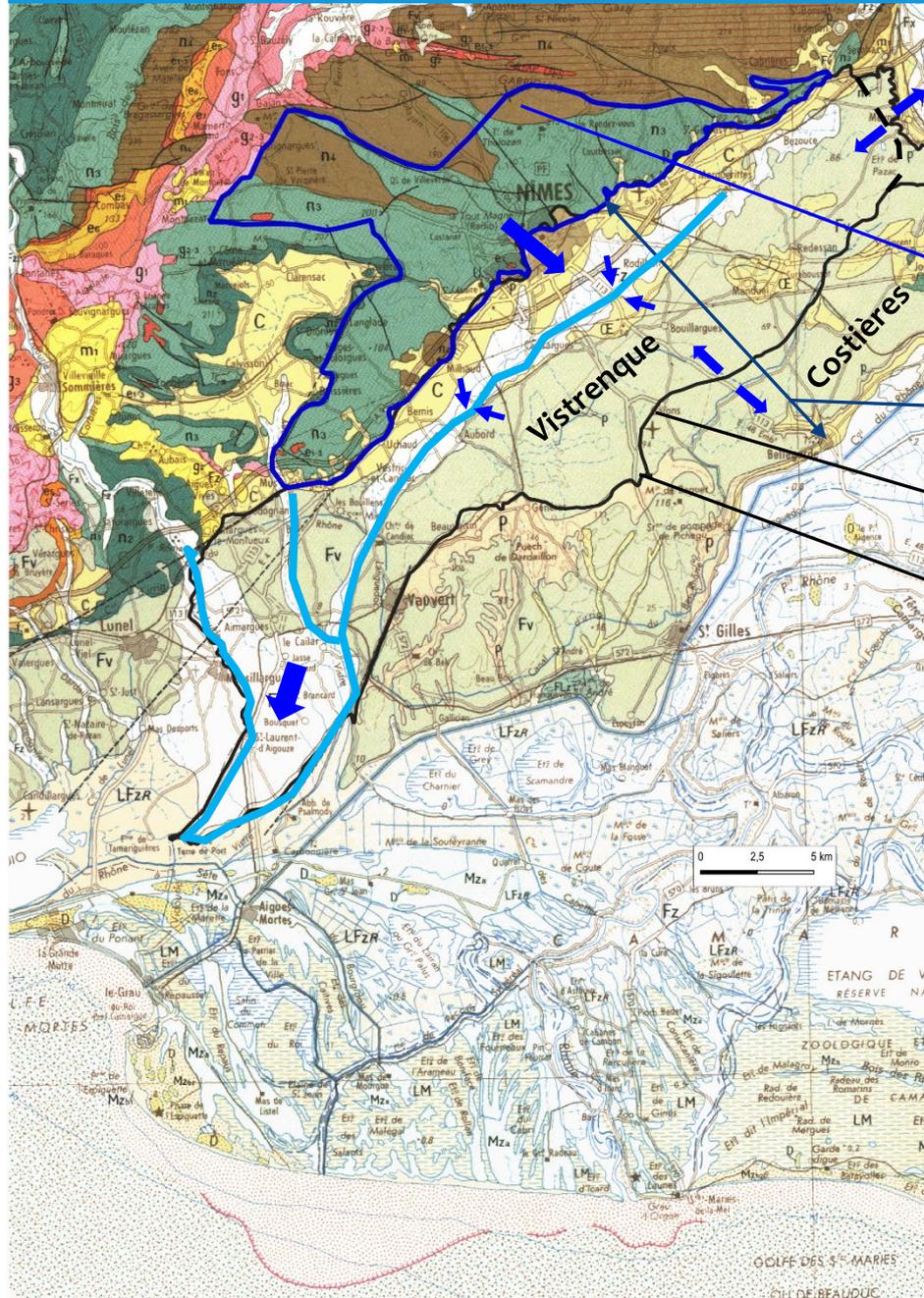
Groupe de données n°4 : les apports et pertes depuis / vers l'extérieur

→ Etude détaillée du contexte hydrologique de la nappe -> **Bilan des entrées et sorties**

Exemple de schéma conceptuel :



Modélisation



Limites de la nappe des calcaires alimentant la Vistrenque

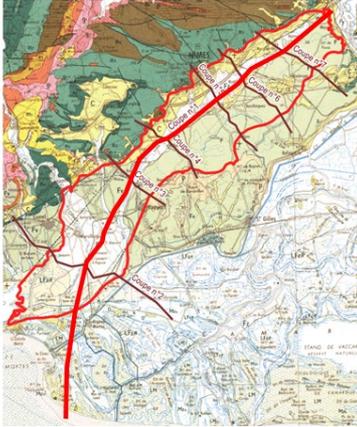
Alluvions anciennes du Rhône: Villafranchien (0,8 – 1,8 millions d'années)

Ligne de partage des eaux

Limites de la masse d'eau administrative Vistrenque

→ Phase 1 : Bilan / complément de connaissance de la nappe de la Vistrenque

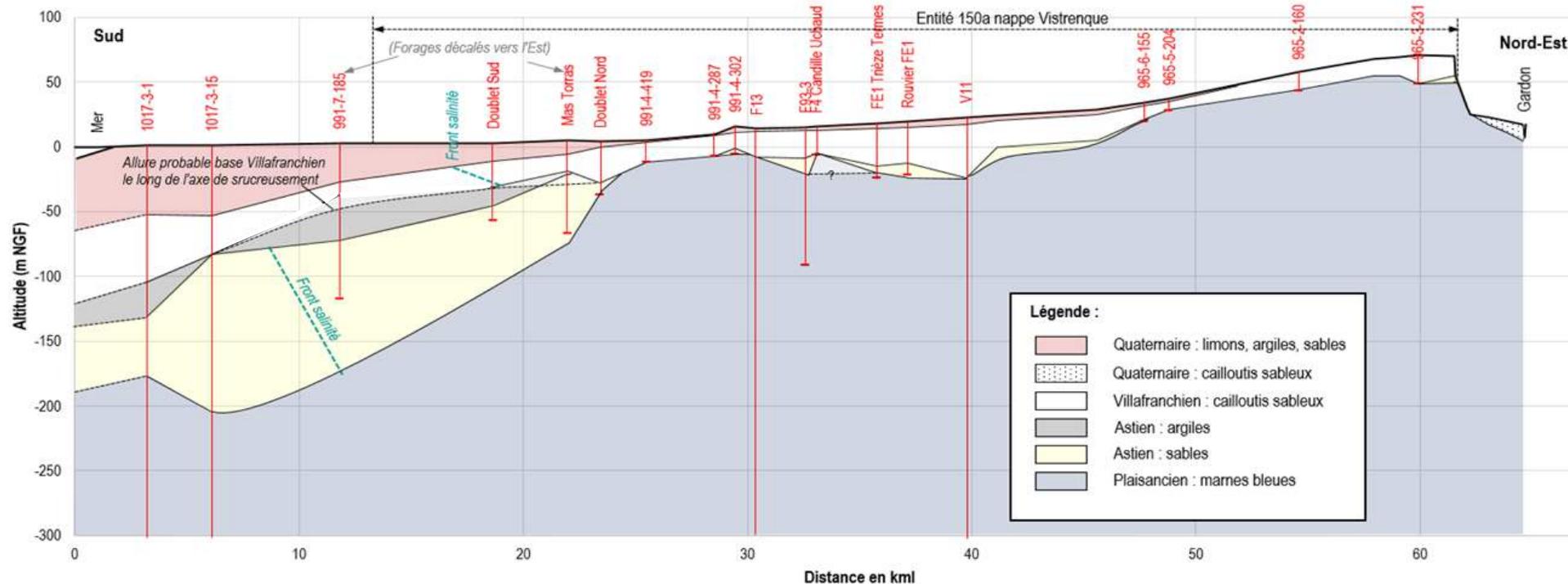
Géométrie (géologie)



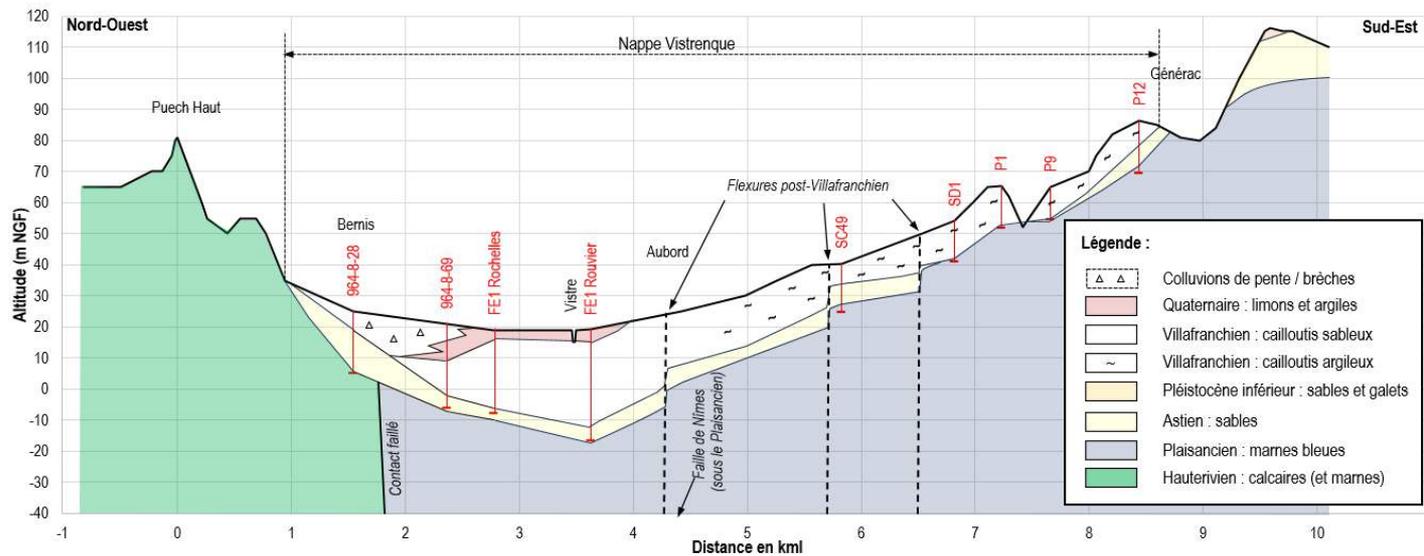
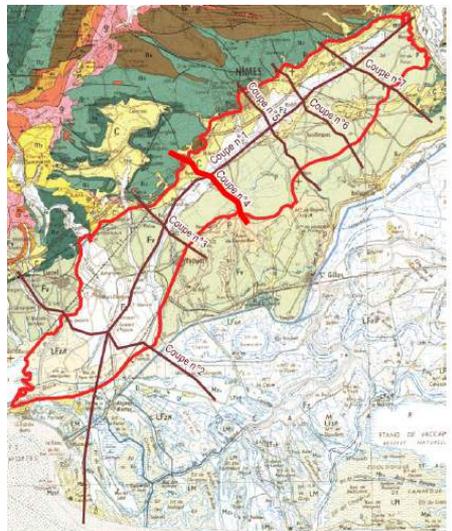
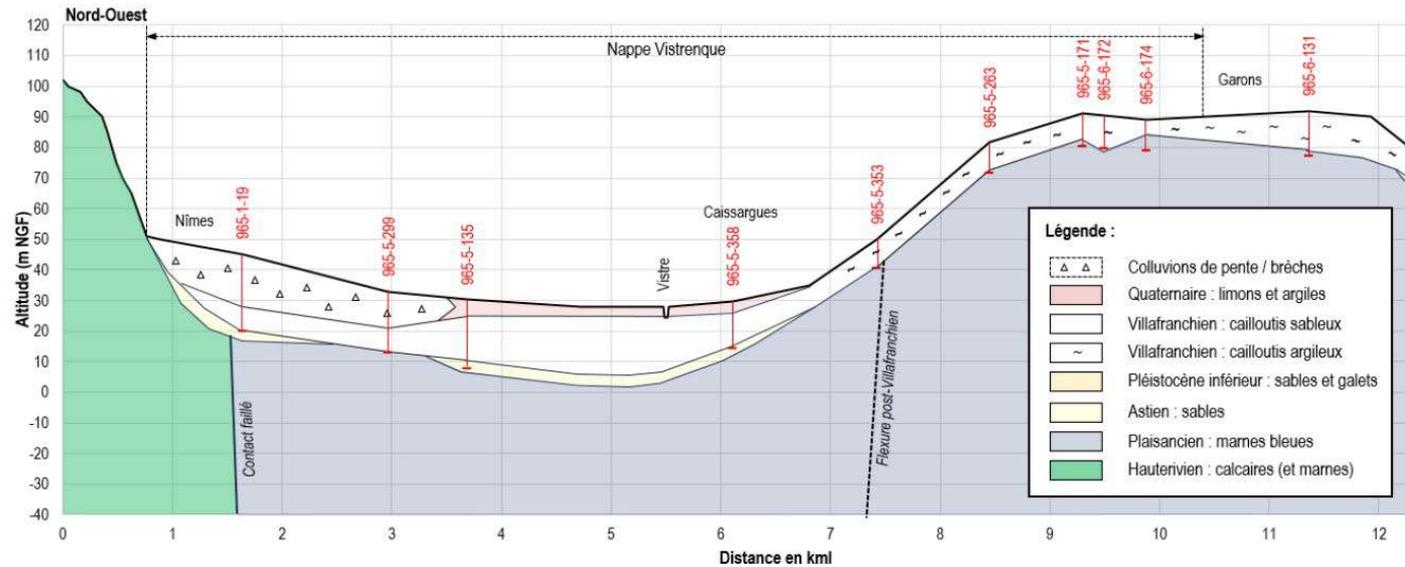
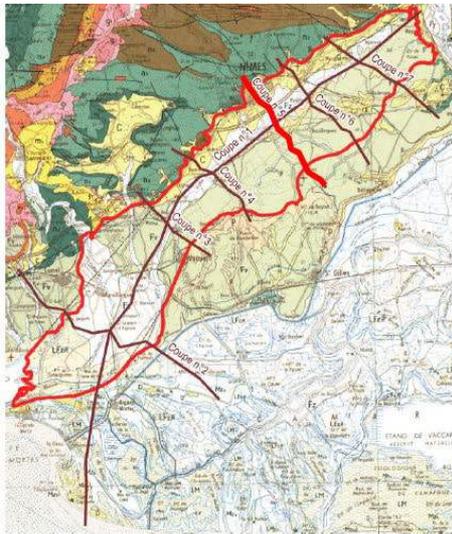
Coupe géologique longitudinale : alluvions plongeant sous les sédiments côtiers récents argileux à argilo-sableux (Holocène), pas de contact local avec la mer

Pendant le quaternaire : abaissement et inclinaison des couches de dépôts vers le Sud (tectonique et subsidence)

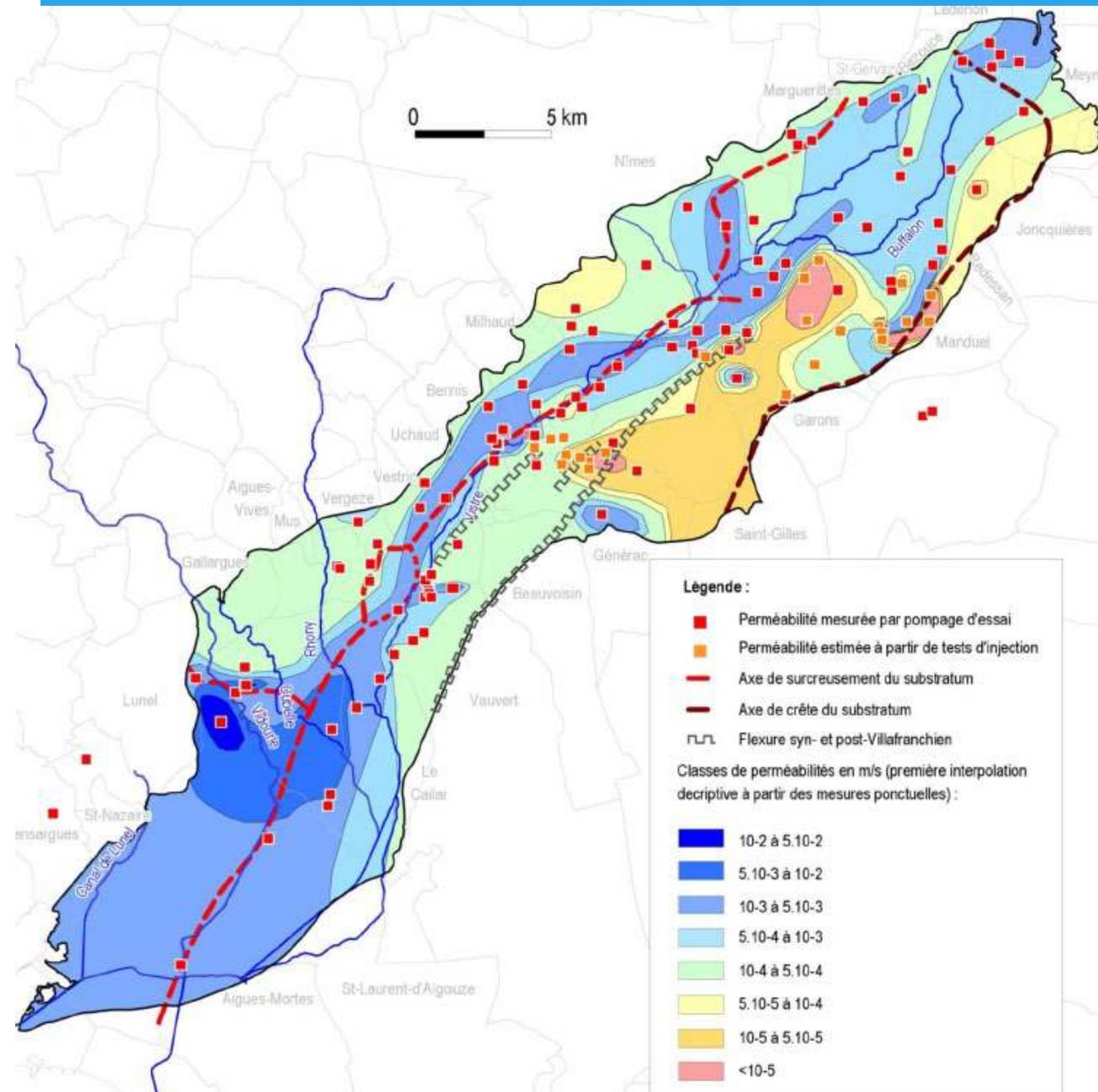
Coupe géologique schématique n°1



1. Géométrie (géologie)



2. Perméabilités des alluvions aquifères

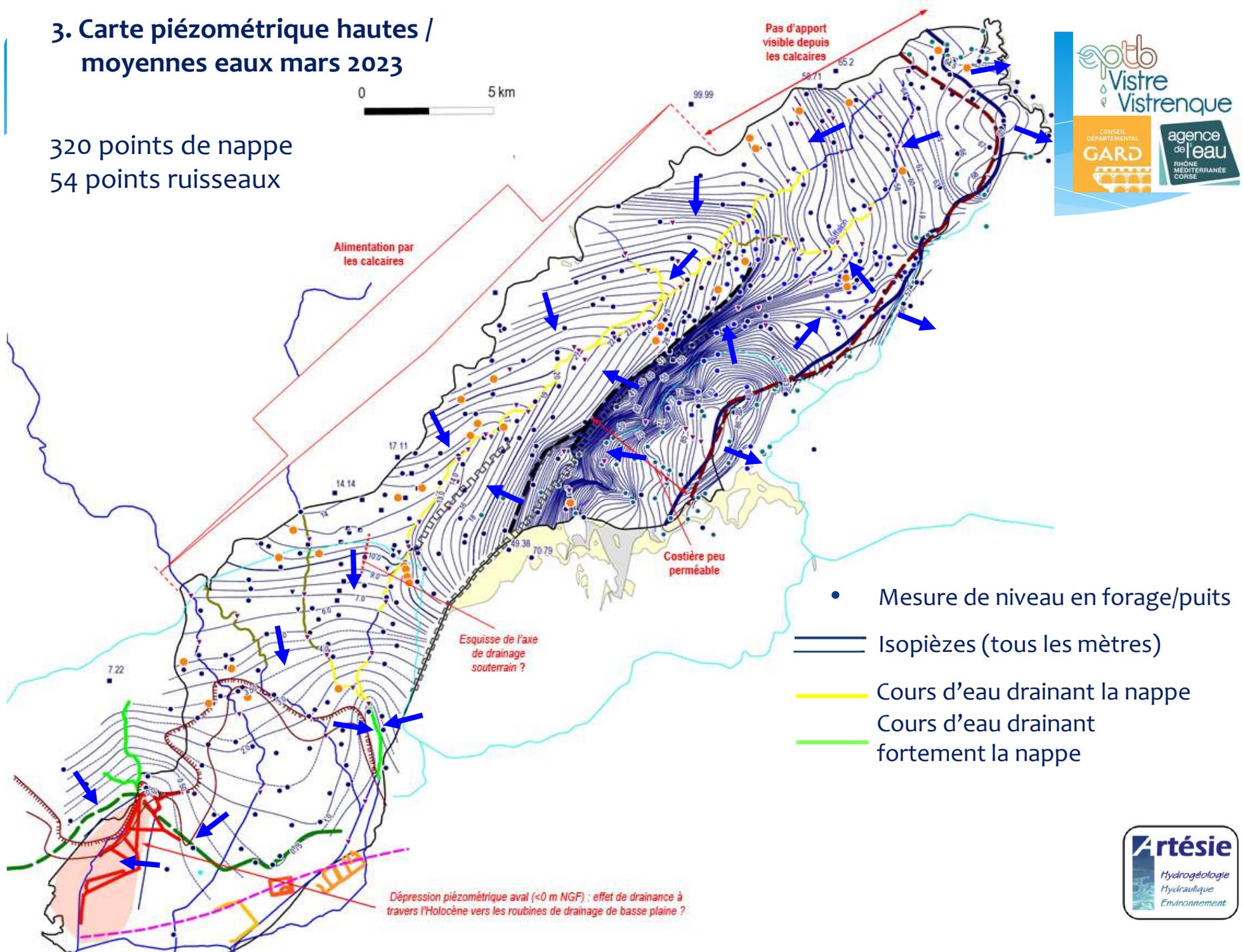


Plus c'est bleu, plus les alluvions sont perméables (et donc productives)

→ Anciens chenaux du Rhône en partie centrale : graviers plus grossiers

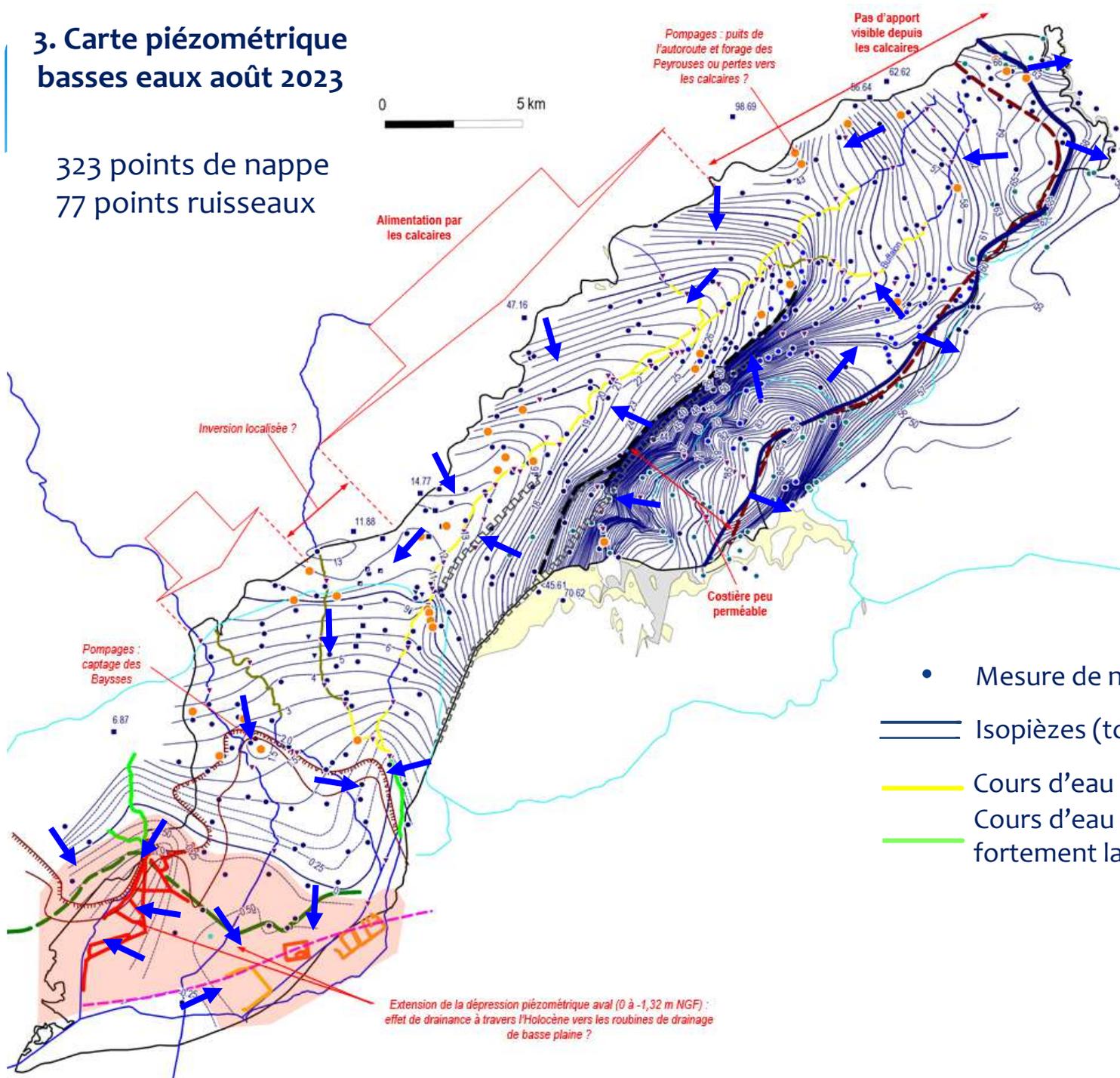
3. Carte piézométrique hautes / moyennes eaux mars 2023

320 points de nappe
54 points ruisseaux



3. Carte piézométrique basses eaux août 2023

323 points de nappe
77 points ruisseaux



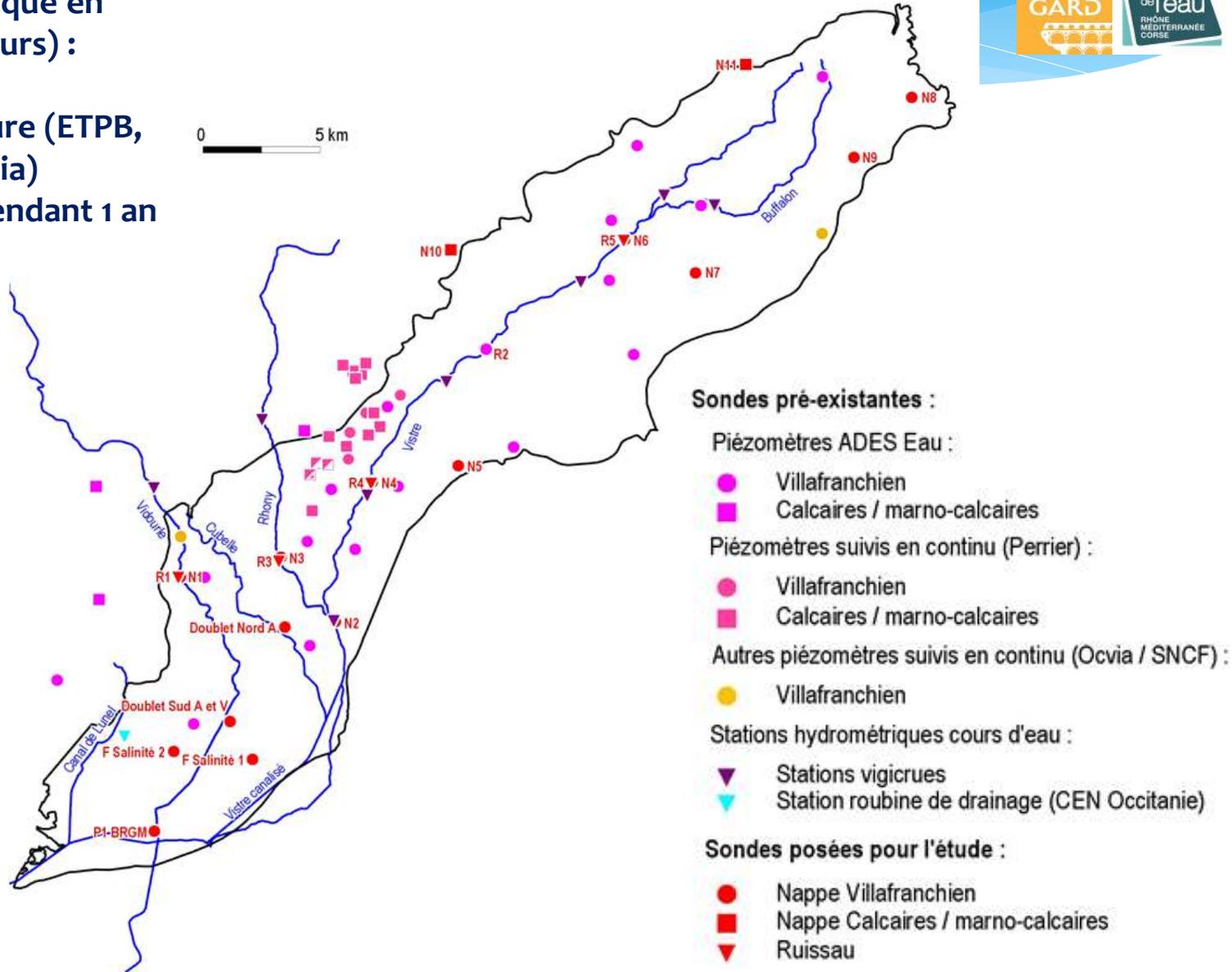
- Mesure de niveau en forage/puits
- Isopièzes (tous les mètres)
- Cours d'eau drainant la nappe
- Cours d'eau drainant fortement la nappe



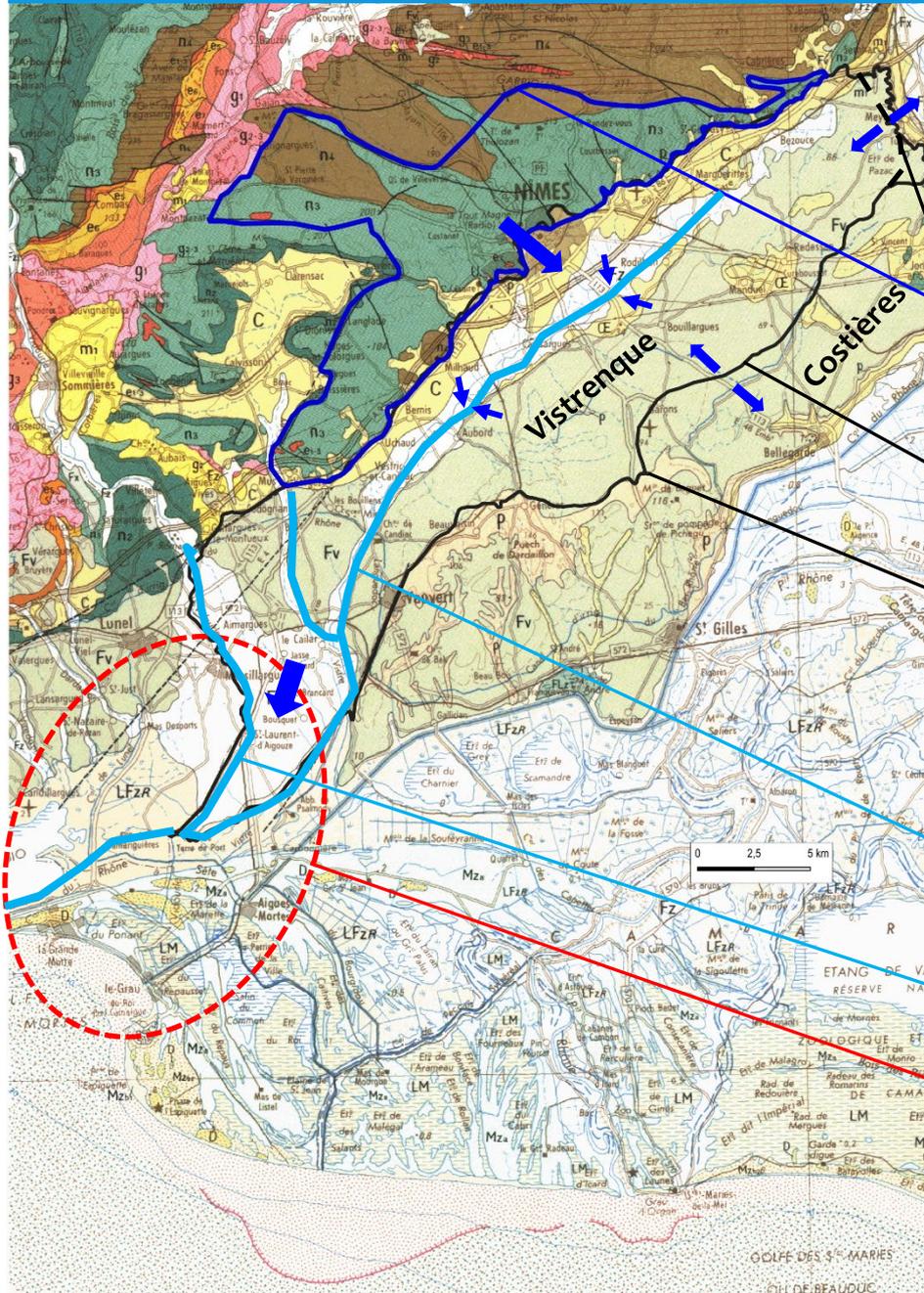
3. Piézométrie

Suivi piézométrique en continu (en cours) :

43 sondes à demeure (ETPB, Perrier, Ocvia)
15 sondes posées pendant 1 an



4. Entrées et sorties



Limites de la nappe des calcaires alimentant la Vistrenque

Lignes de partage des eaux

Masse d'eau administrative Vistrenque

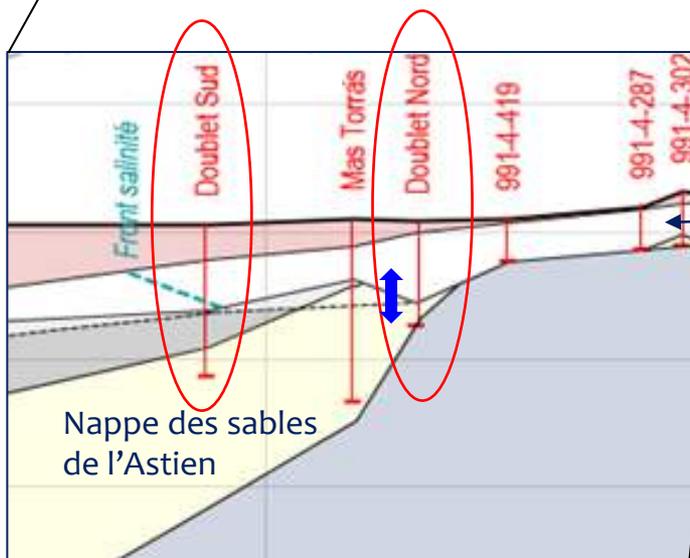
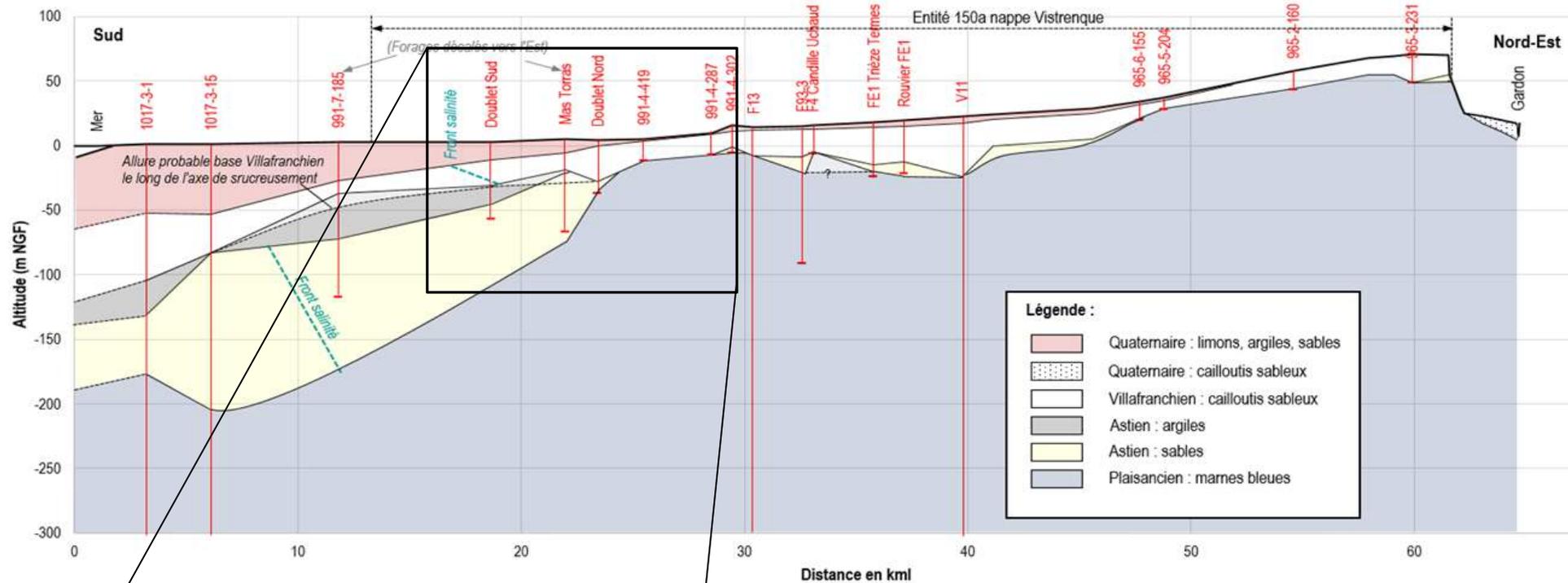
Vistre : draine globalement la nappe mais selon des débits mal connus à l'échelle de la nappe

Autres ruisseaux : rôles mal connus

Aval mal connu : rôle de la nappe de l'Astien ? exutoire(s) ?

Etudes hydrogéologiques préalables de phase 1

→ Doublets de forages et essais de pompage (Luroforage / Brante forages) réalisés en 2023



Nappe de la Vistrenque

Un doublet = un forage dans chaque nappe. Pompages longues durées croisés dans chaque ouvrage pour mesurer l'influence sur l'autre nappe

Objectifs : préciser les relations entre la nappe de la Vistrenque et la nappe de l'Astien et préciser les propriétés de la Vistrenque dans la zone aval

Résultats :

Doublet Nord : les deux nappes sont en relation étroite

Doublet Sud : les deux nappes sont parfaitement indépendantes

4. Entrées et sorties

Mesures des échanges nappe / rivières Basses eaux 2023 (BE) / Hautes eaux 2023 (HE)

● Point de jaugeage ruisseaux

Echanges nappe rivières interprétés des jaugeages
par tronçons (et débits d'échanges associés en l/s) :

-  La nappe alimente la rivière (débit positif)
-  La rivière alimente la nappe (débit négatif)
-  Pas d'échanges

Nappe → Vidourle :
BE : +46 l/s
HE : 381 l/s

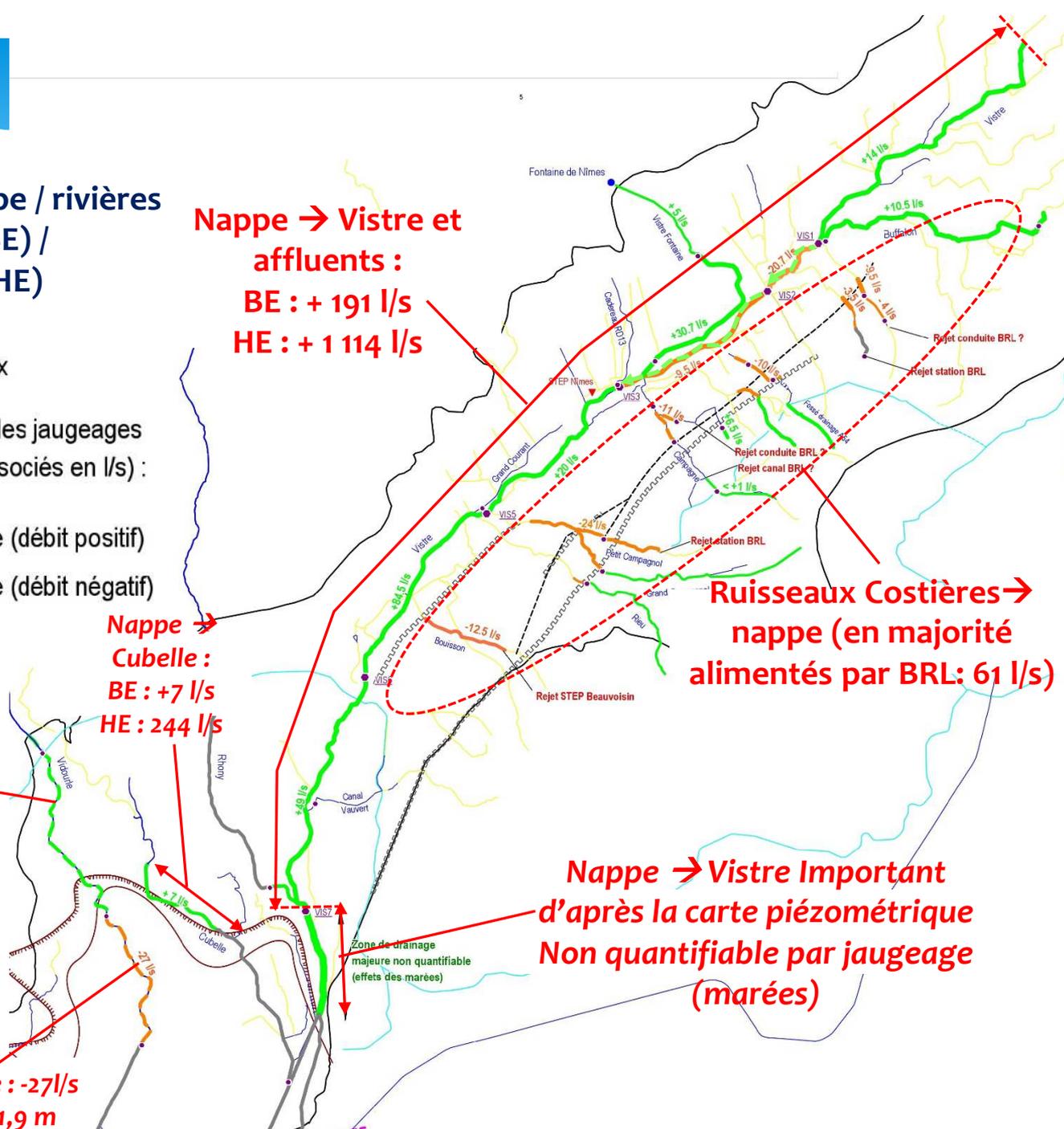
Vidourle → nappe : -27 l/s
Perché de 0,4 à 1,9 m

Nappe → Cubelle :
BE : +7 l/s
HE : 244 l/s

**Nappe → Vistre et
affluents :**
BE : + 191 l/s
HE : + 1 114 l/s

**Ruisseaux Costières →
nappe (en majorité
alimentés par BRL: 61 l/s)**

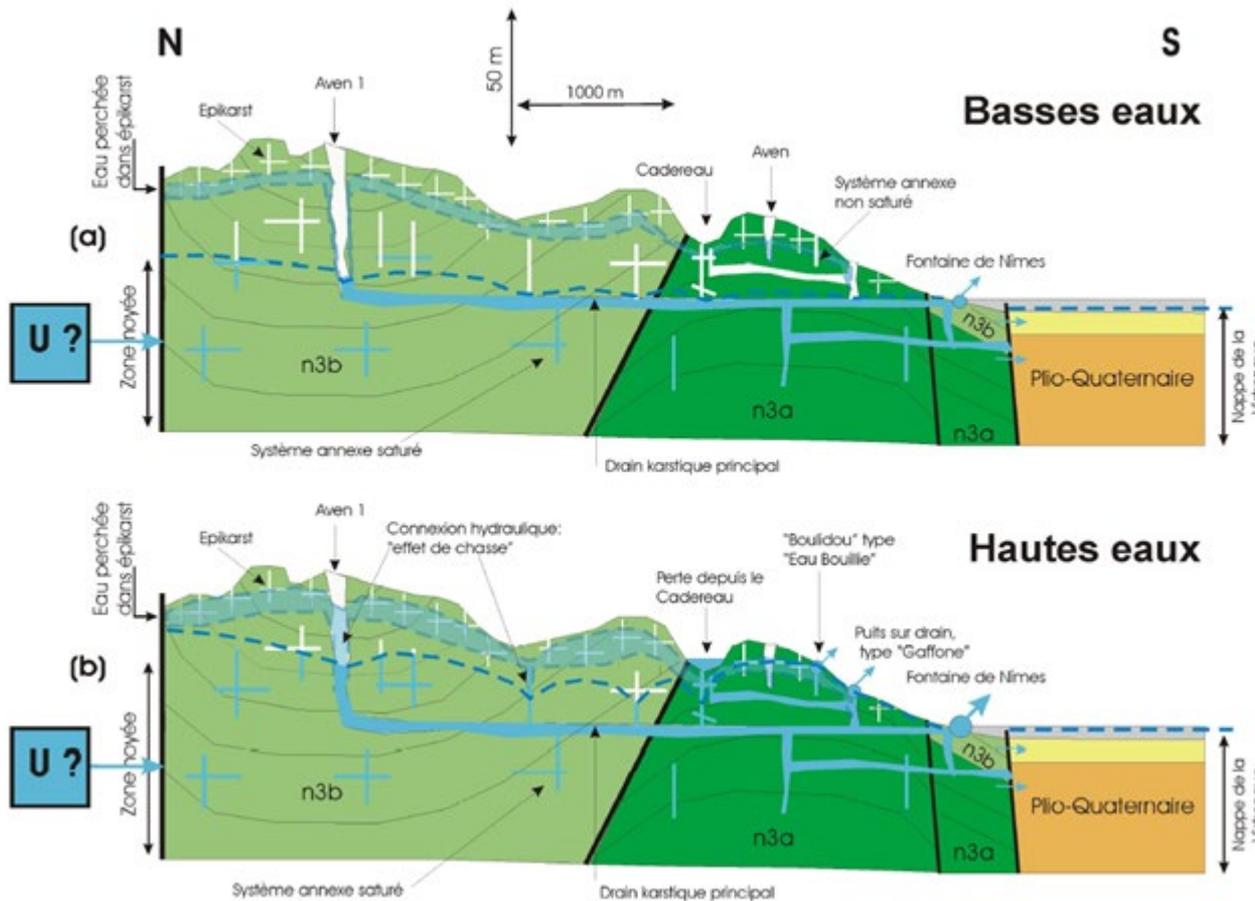
**Nappe → Vistre Important
d'après la carte piézométrique
Non quantifiable par jaugeage
(marées)**



4. Entrées et sorties

Relations avec la nappe des calcaires

Figure 69 – Modèle conceptuel de la fontaine de Nîmes (Maréchal 2005)

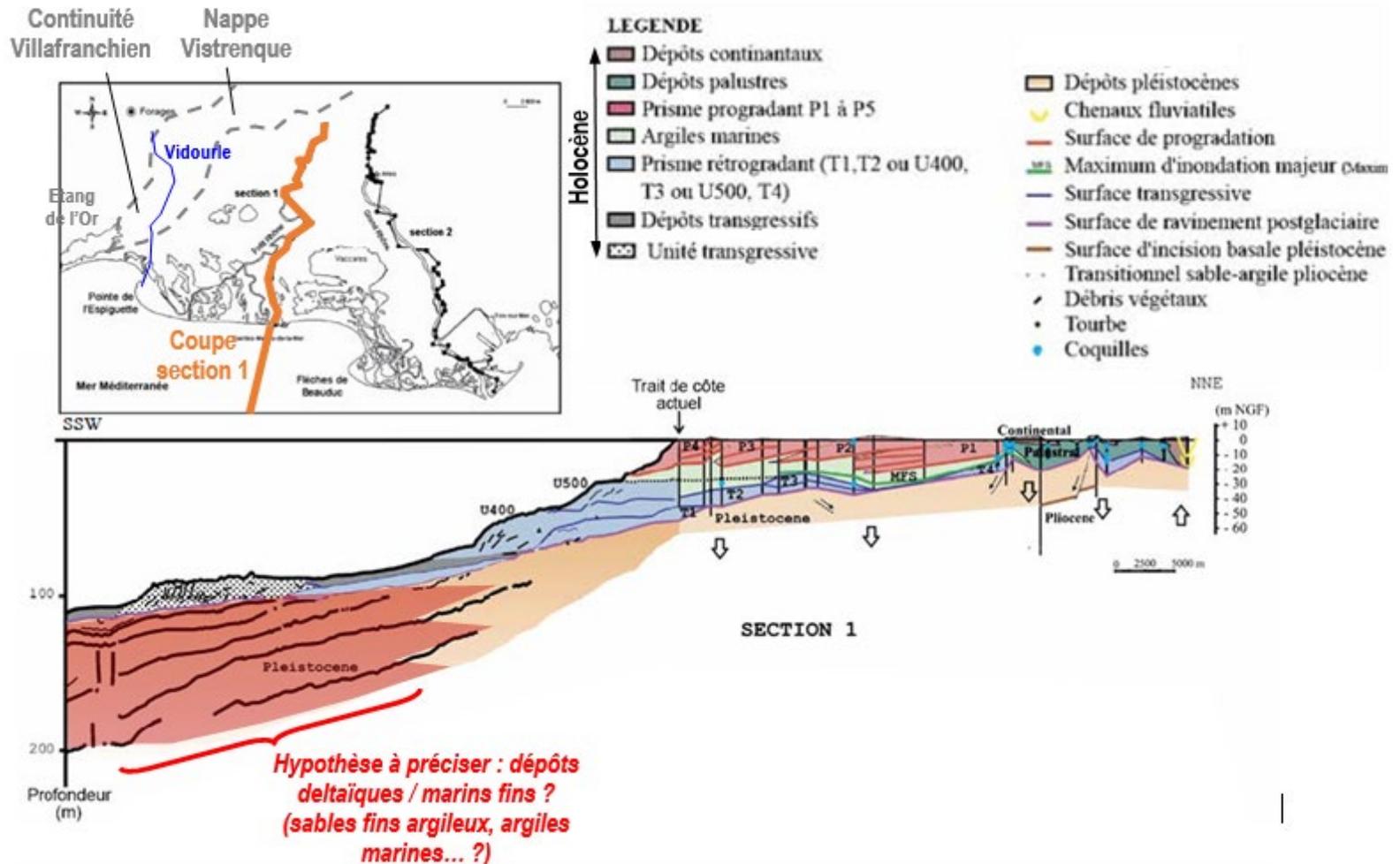


4. Entrées et sorties

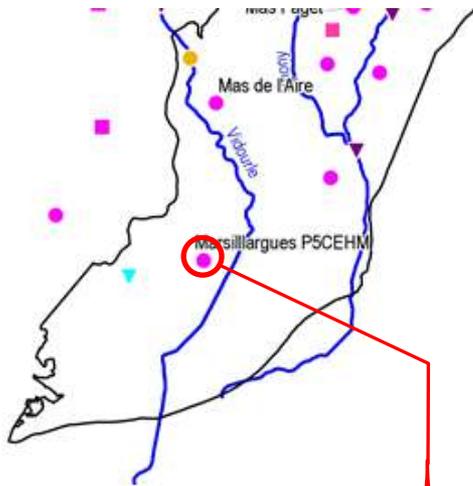
Fonctionnement aval

Aval : relations avec la mer

D'après la bibliographie : très limitées en raison d'une interface géologique peu perméable



Dépression piézométrique zone de basse plaine (Marsillargues et Saint-Laurent-d'Aigouze) :



Légende :

Piezomètres ADES Eau :

- Villafranchien
- Calcaires / marno-calcaires

Piezomètres suivis en continu (Perrier) :

- Villafranchien
- Calcaires / marno-calcaires

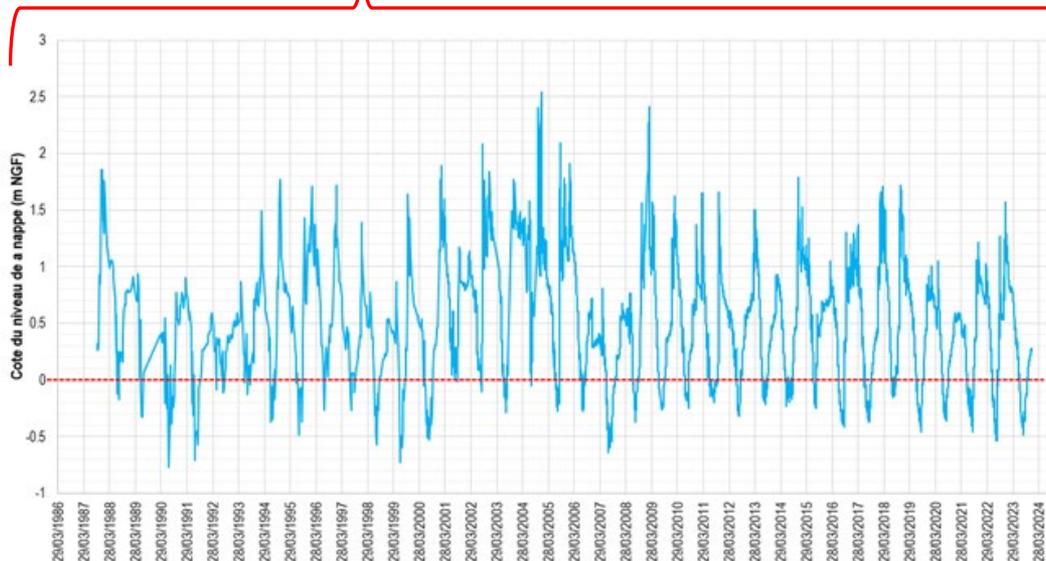
Autres piezomètres suivis en continu (Ocvia / SNCF) :

- Villafranchien

Stations hydrométriques cours d'eau :

- ▼ Stations vigicrues
- ▼ Station roubine de drainage (CEN Occitanie)

- Le niveau de la nappe du Villafranchien passe sous 0 m NGF les 2-4 mois d'été
- Baisse de la nappe de 5 mm/jour pendant ces 4 mois d'été
- Cote min de -0,30 à -0,77 m NGF
- → Existence de pompage(s)

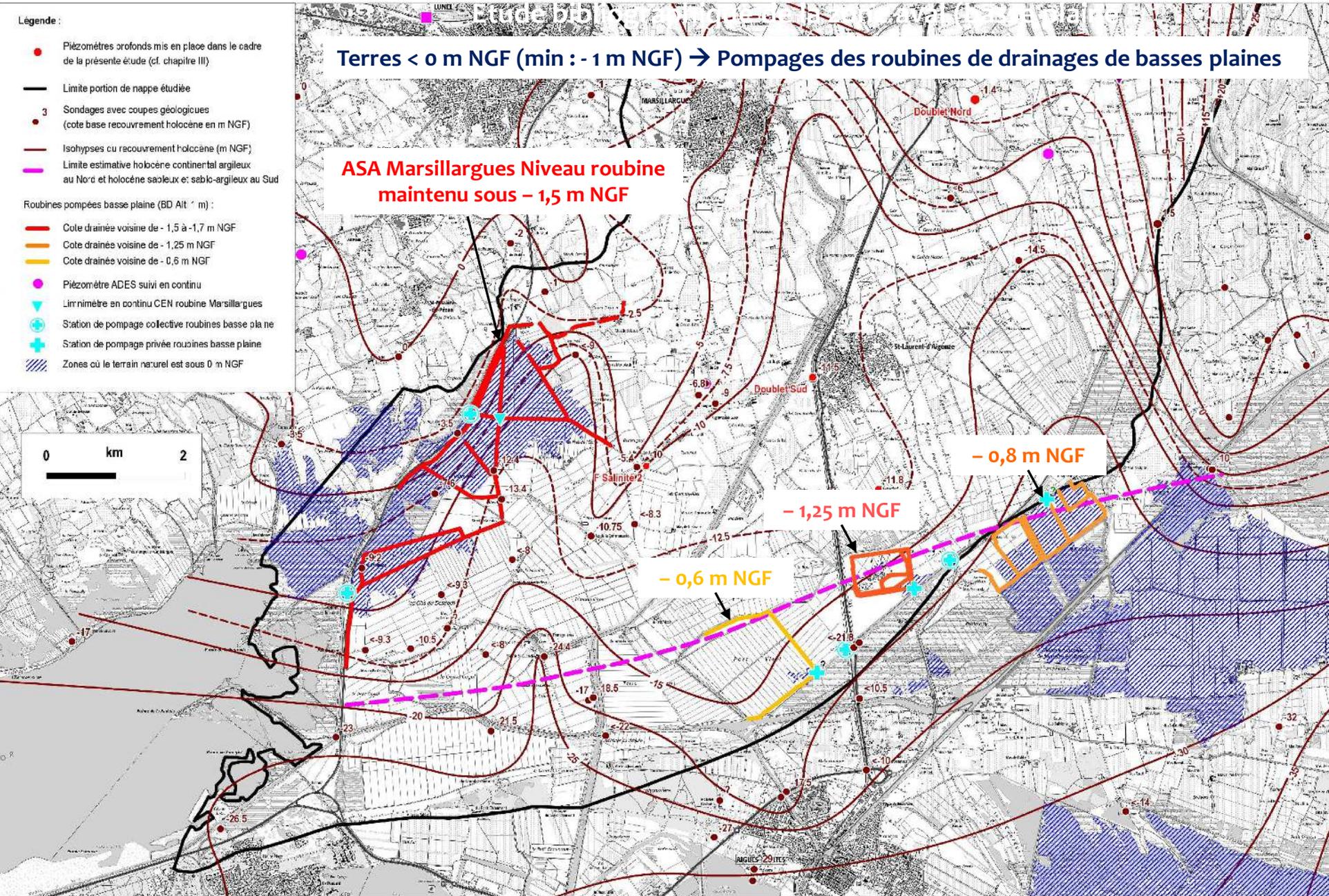


Légende :

- Piézomètres profonds mis en place dans le cadre de la présente étude (cf. chapitre III)
- Limite portion de nappe étudiée
- Sondages avec coupes géologiques (cote base recouvrement holocène en m NGF)
- Isohypses au recouvrement holocène (m NGF)
- Limite estimative holocène continental argileux au Nord et holocène sableux et sablo-argileux au Sud
- Roubines pompées basse plaine (BD Alt. ' m) :
- Cote drainée voisine de - 1,5 à -1,7 m NGF
- Cote drainée voisine de - 1,25 m NGF
- Cote drainée voisine de - 0,6 m NGF
- Piézomètre ADES suivi en continu
- Limnimètre en continu CEN roubine Marsillargues
- + Station de pompage collective roubines basse plaine
- + Station de pompage privée roubines basse plaine
- Zones où le terrain naturel est sous 0 m NGF

Terres < 0 m NGF (min : - 1 m NGF) → Pompages des roubines de drainages de basses plaines

ASA Marsillargues Niveau roubine maintenu sous - 1,5 m NGF

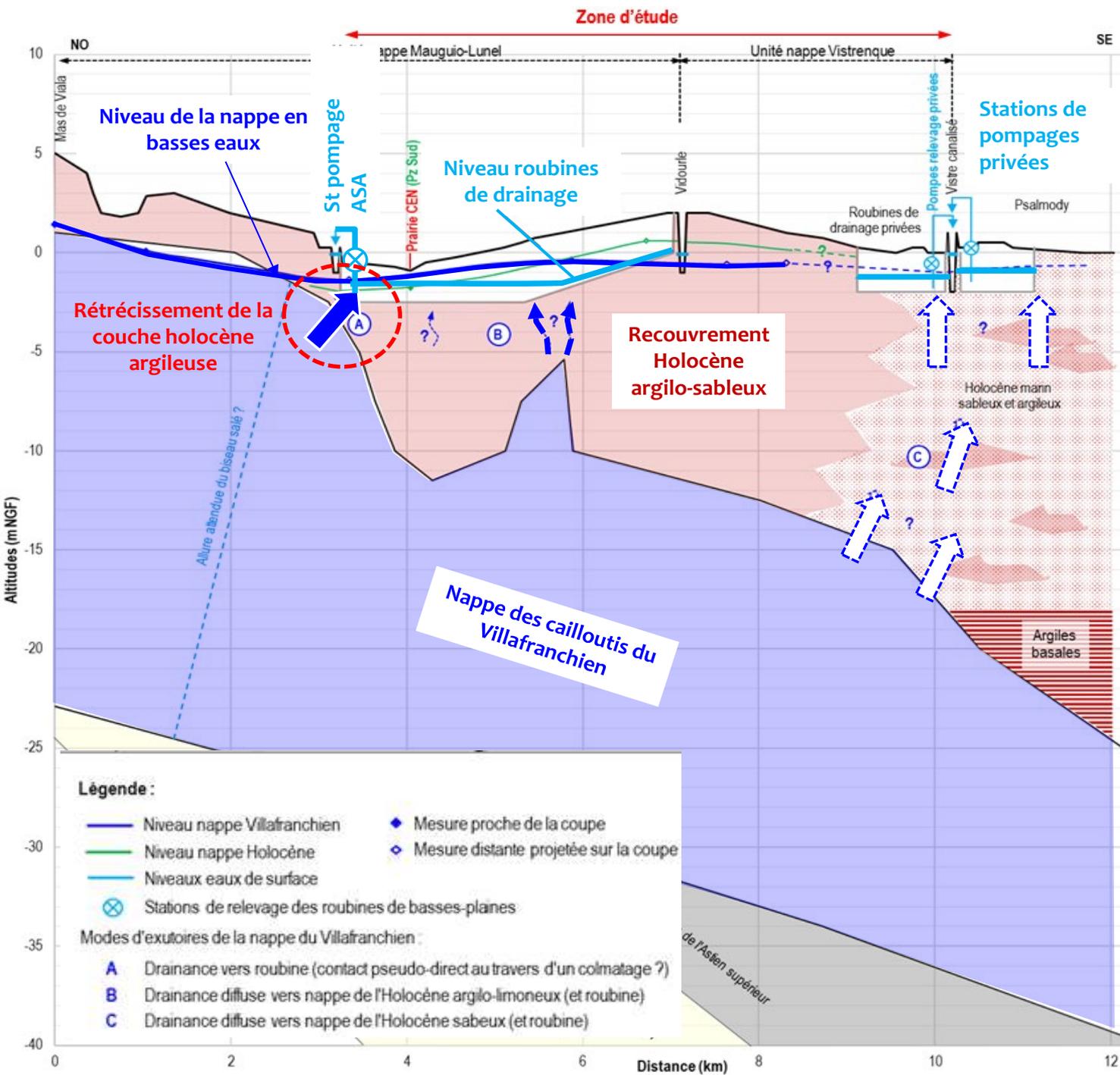


0 km 2

- 0,8 m NGF

- 1,25 m NGF

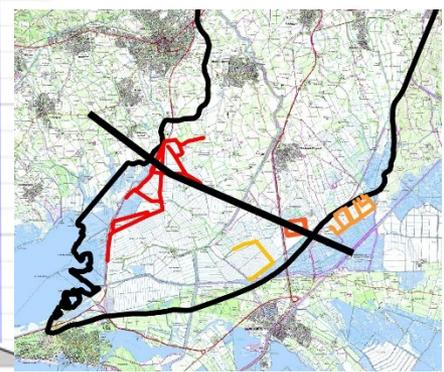
- 0,6 m NGF



Niveau de la nappe en basses eaux > Niveau d'eau roulines de drainage

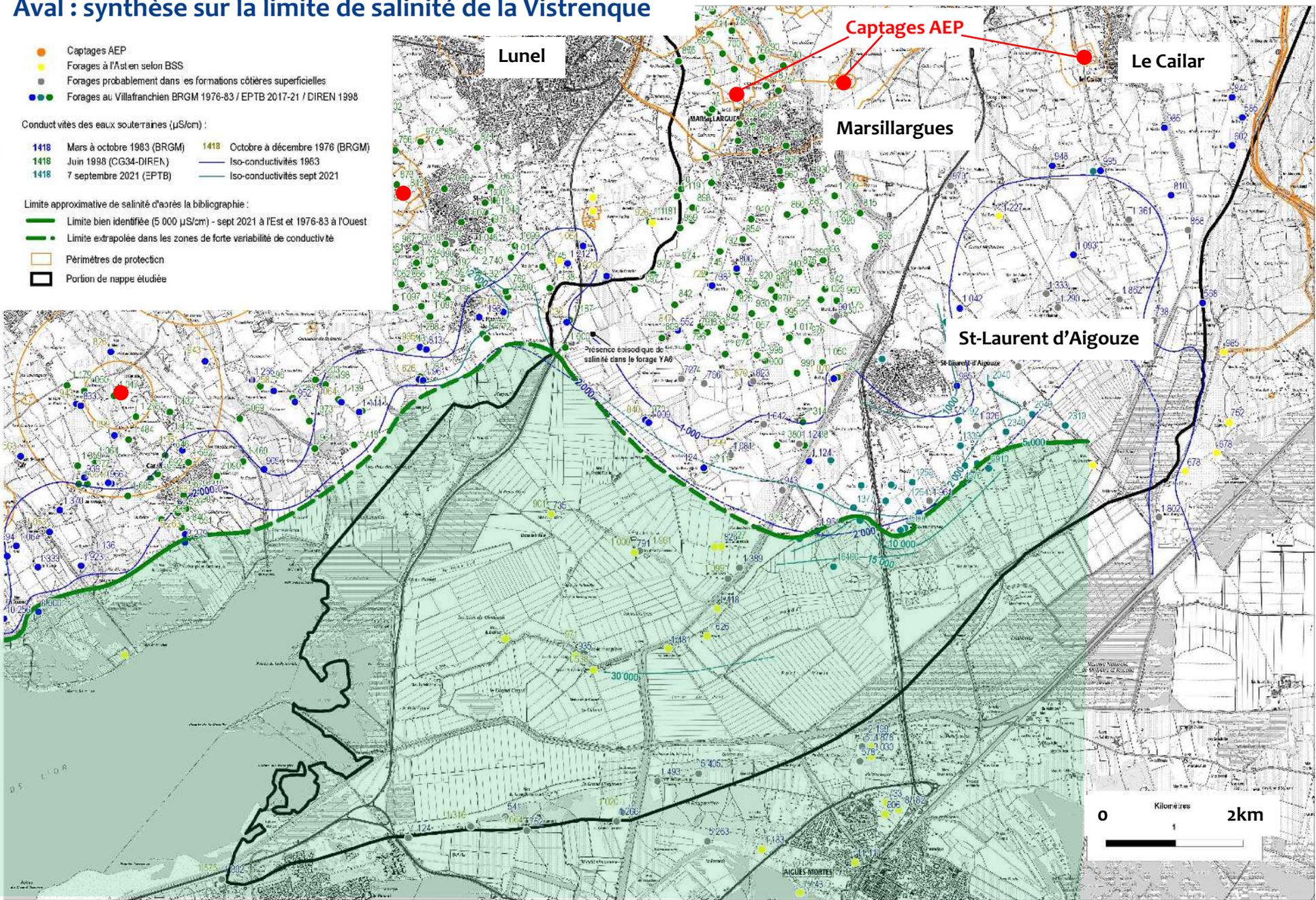
Possibilités de communications géologiques (ralenties ou ponctuelles)

→ Flux résiduel ascendant de la nappe vers les roulines de drainage ?



Aval : synthèse sur la limite de salinité de la Vistrenque

- Captages AEP
 - Forages à l'Astén selon BSS
 - Forages probablement dans es formations côtières superficielles
 - ● Forages au Villafanchien BRGM 1976-83 / EPTB 2017-21 / DIREN 1998
- Conductivités des eaux souterraines ($\mu\text{S}/\text{cm}$) :
- | | | | |
|------|----------------------------|------|--------------------------------|
| 1418 | Mars à octobre 1983 (BRGM) | 1418 | Octobre à décembre 1976 (BRGM) |
| 1418 | Juin 1998 (CG34-DIREN) | — | Iso-conductivités 1983 |
| 1418 | 7 septembre 2021 (EPTB) | — | Iso-conductivités sept 2021 |
- Limite approximative de salinité d'après la bibliographie :
- Limite bien identifiée ($5\,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$) - sept 2021 à l'Est et 1976-83 à l'Ouest
 - - - Limite extrapolée dans les zones de forte variabilité de conductivité
 - Périmètres de protection
 - Portion de nappe étudiée



Présence basique de salinité dans le forage YA6



Limites du modèle

Apports depuis les calcaires

Apports depuis les sables Astien ?

Ligne de partage des eaux

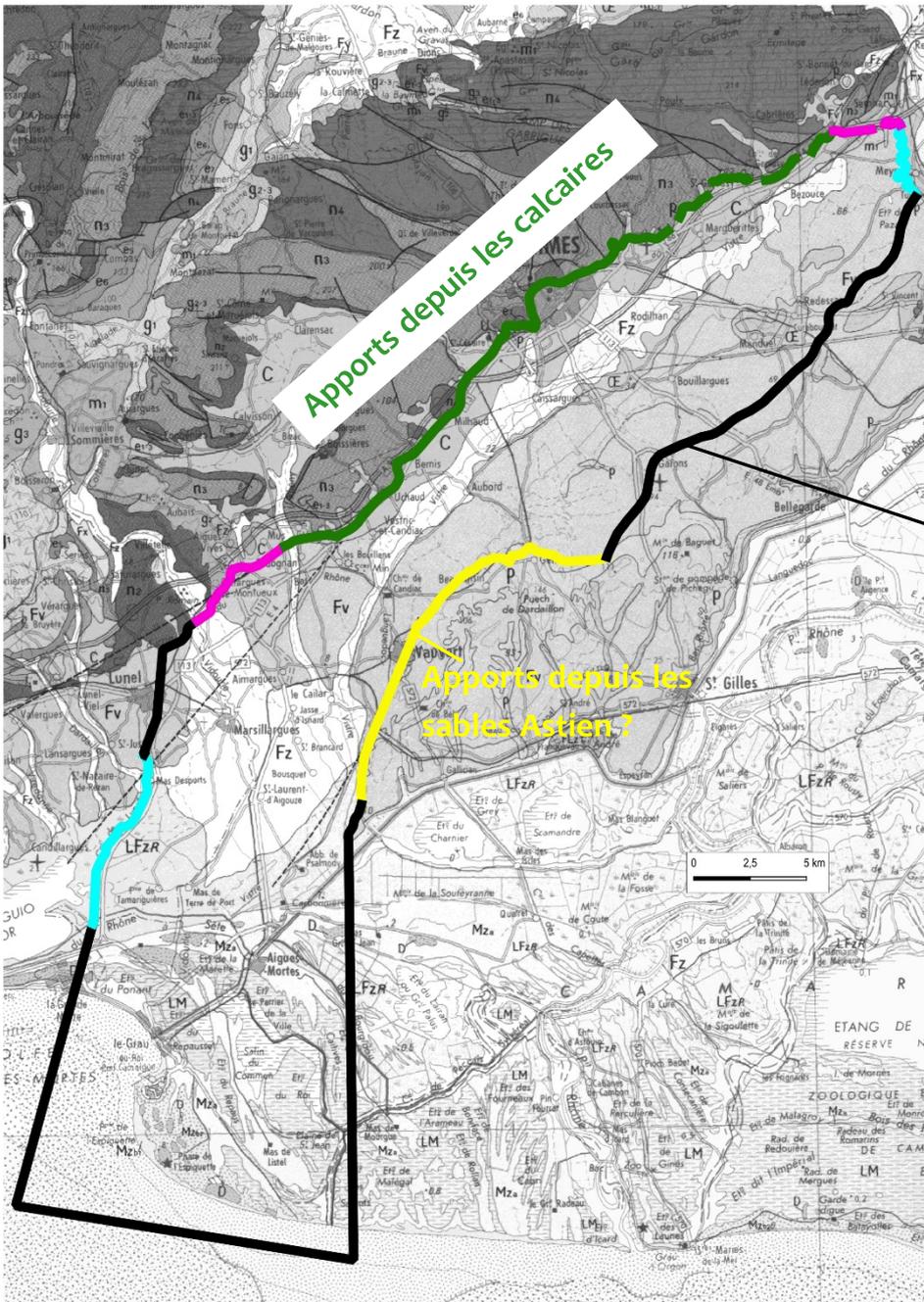
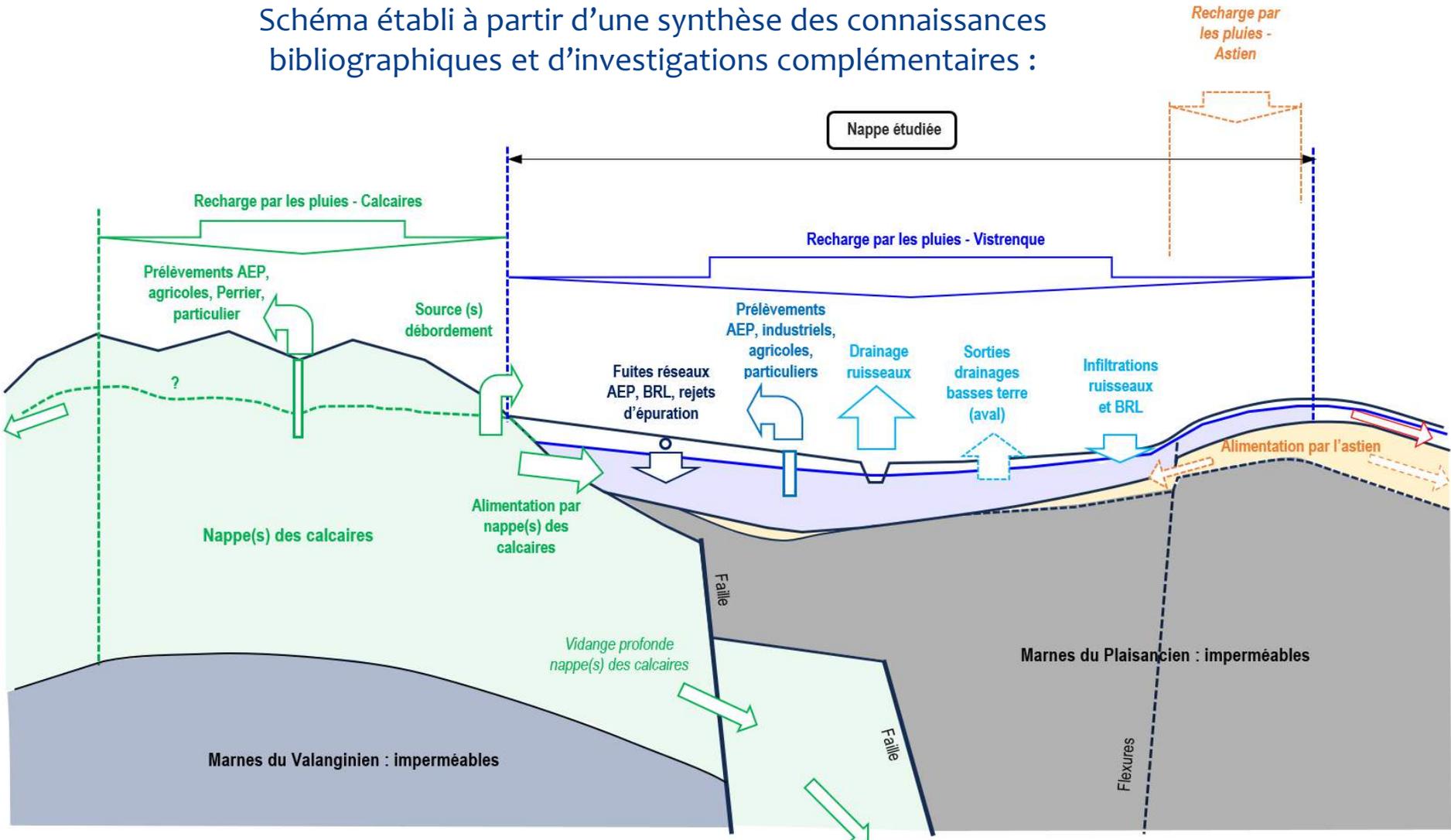


Schéma conceptuel du modèle

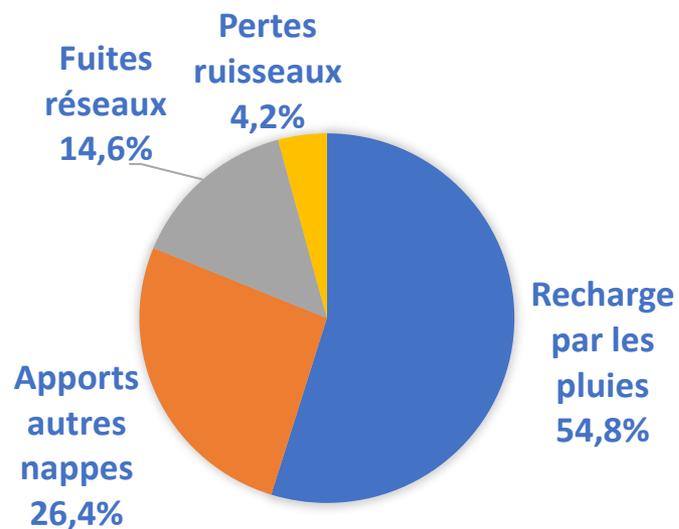
Schéma établi à partir d'une synthèse des connaissances bibliographiques et d'investigations complémentaires :



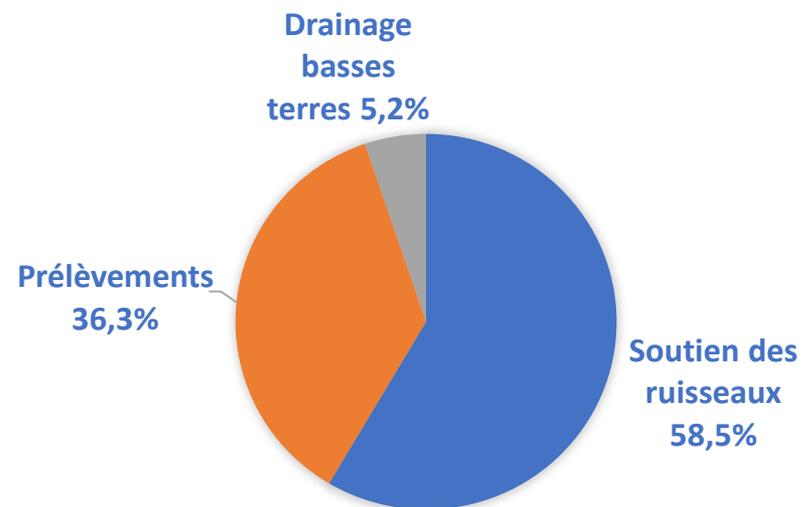
Bilan hydrologique *a priori*



Répartition des entrées :



Répartition des sorties :



Attention, bilan provisoire amené à évoluer après modélisation

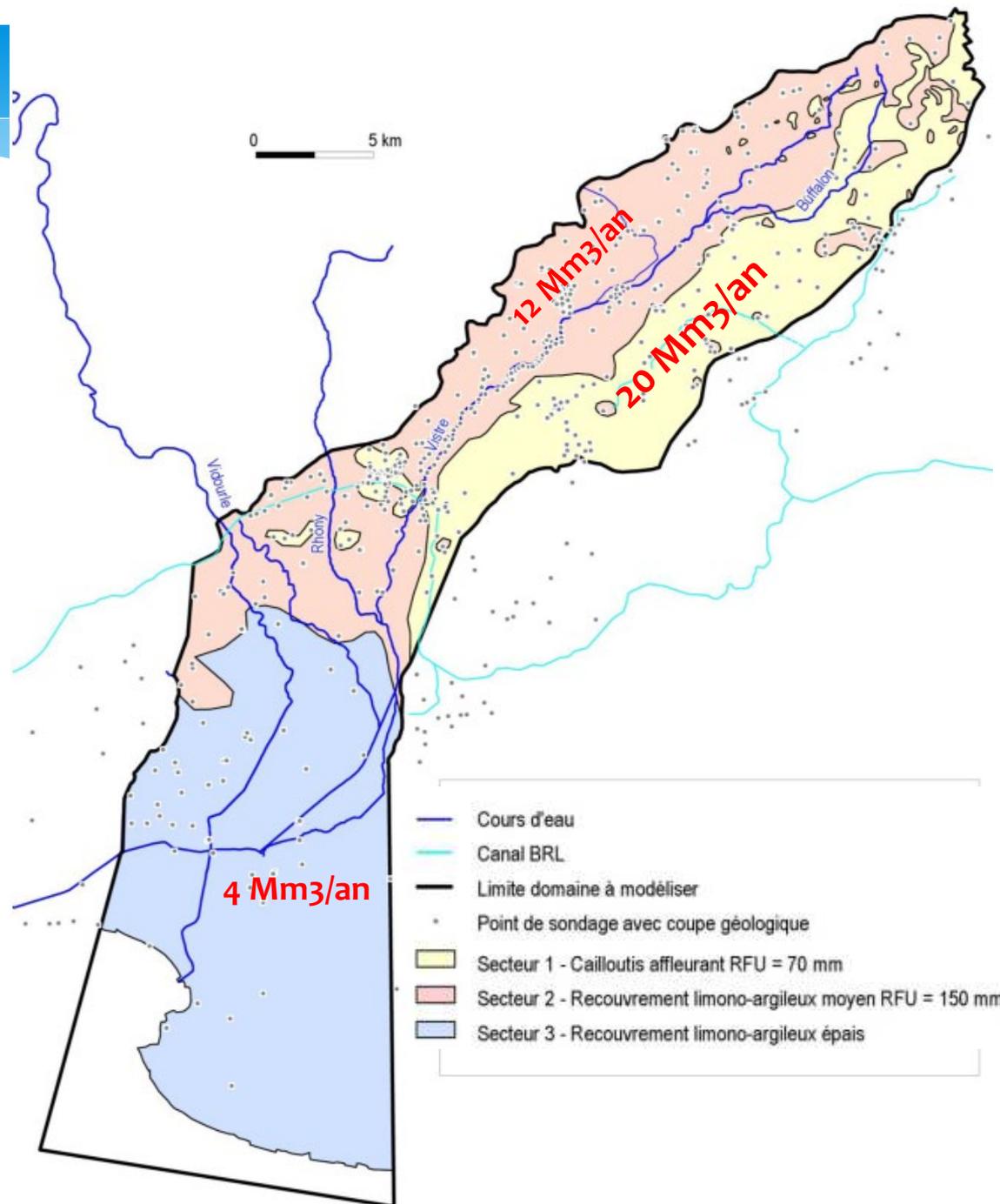


Bilan hydrologique *a priori*

→ Estimation et répartition de la recharge par la pluie : 36 Mm³/an (moyenne sur 20 ans)

Variabilité interannuelle très importante : min : 2023 : 10 Mm³/an ; max 2018 : 100 Mm³/an

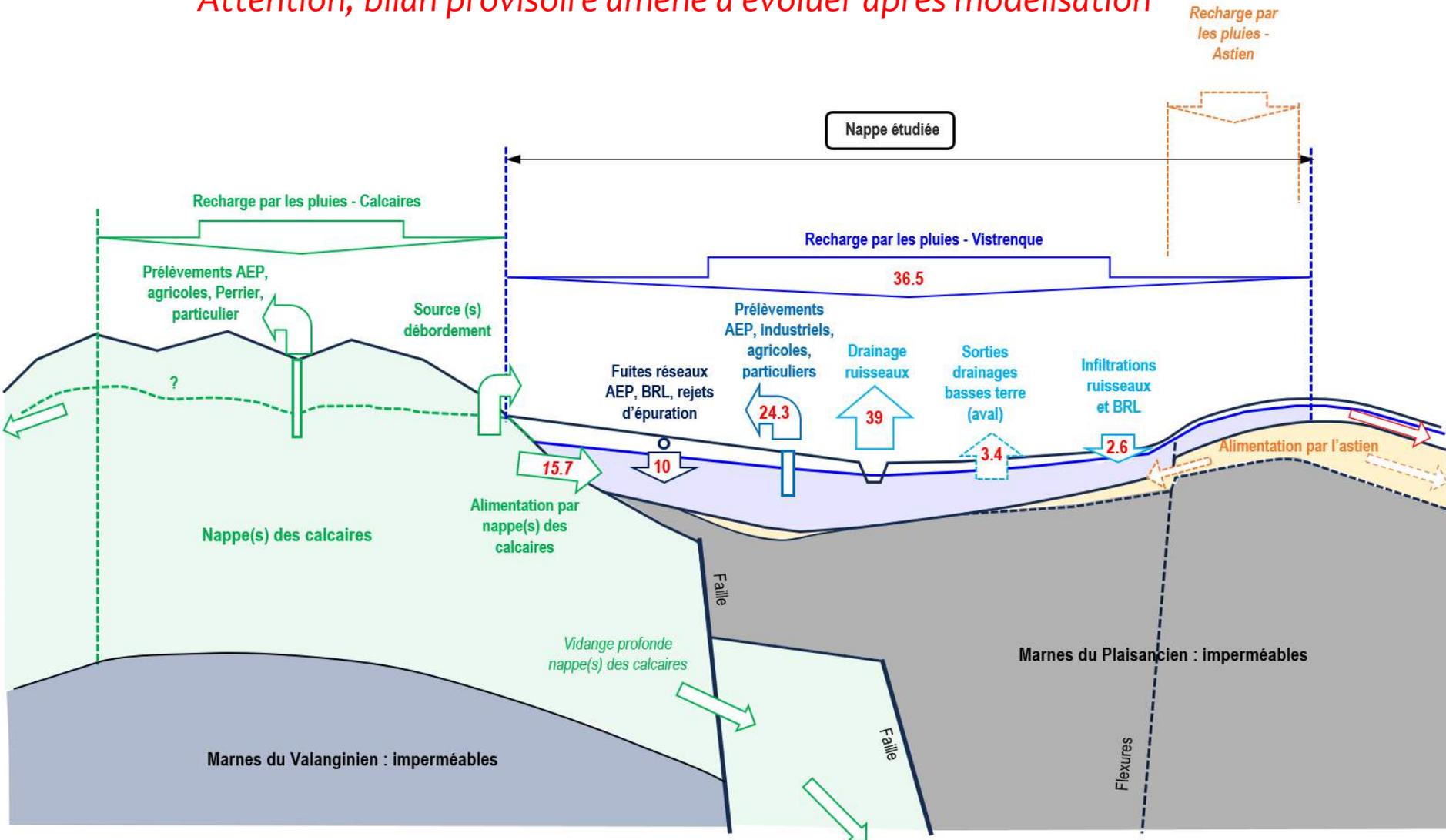
→ A affiner : bilans hydriques plus fins par zones homogènes puis ajustements par calage



Bilan hydrologique *a priori*

Estimation a priori en année moyenne en millions de m³/an

Attention, bilan provisoire amené à évoluer après modélisation



Modélisation : à suivre



Modèle en cours de construction / calage
Fin de la modélisation prévue en mars 2025

