

JOURNÉE EAUX SOUTERRAINES

Suivi des eaux souterraines sur le Département de la Gironde

20/10/2022 - CENAC



© Adobestock - Pavel Klimenko

Le suivi des eaux souterraines en Gironde

- **Quelques rappels d'hydrogéologie**
- **Contexte climatique**
- **Volumes prélevés**
- **Suivi quantitatif des eaux souterraines**
- **Suivi qualitatif des eaux souterraines**
- **Accès aux données des suivis**

Quelques définitions *(d'après Dictionnaire français d'hydrogéologie, Castany & Margat, 1977)*

❖ Aquifère

Ensemble de **roches perméables** permettant **l'écoulement significatif** d'une nappe souterraine et le **captage** de quantités d'eau appréciables.

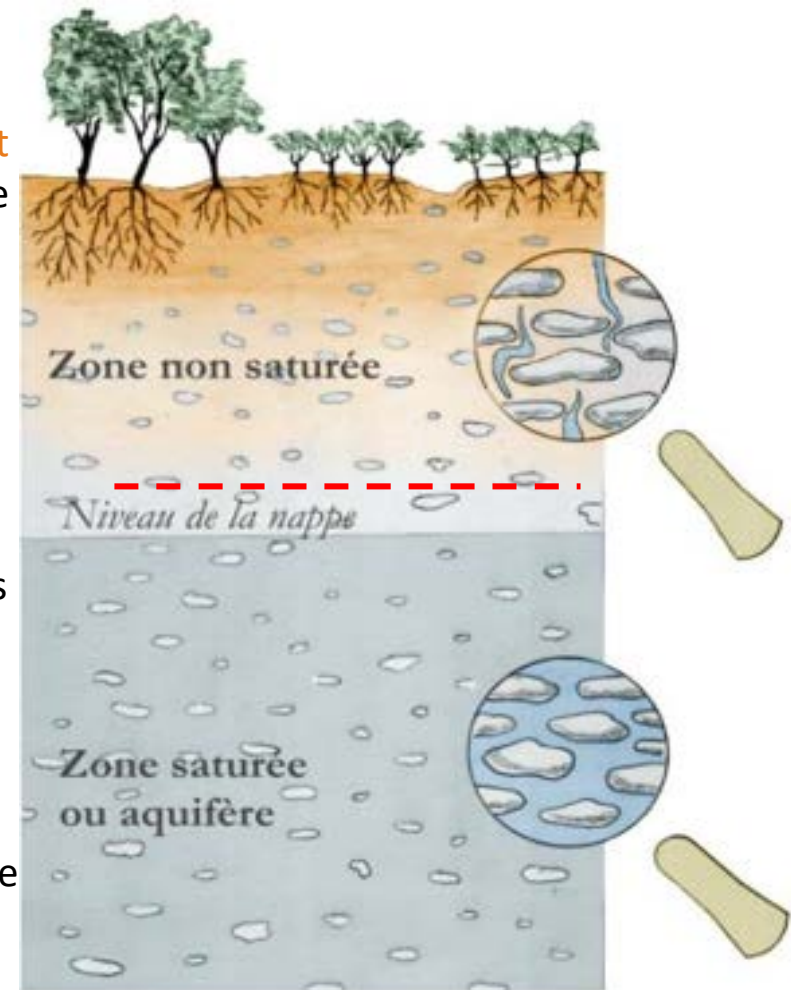
Aquifère = milieu solide (contenant) + l'eau souterraine (contenu = nappe).

❖ Nappe

Eaux souterraines situées dans la **zone saturée** dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

❖ Niveau piézométrique

Limite entre la zone non saturée et la zone saturée (pour une nappe libre).



d'après JJ. Collin (2004)

Quelques définitions (d'après Dictionnaire français d'hydrogéologie, Castany & Margat, 1977)

❖ Nappe libre

Nappe de surface, surface de la nappe (zone saturée) est en contact avec la zone non saturée : « *Aquifère comportant une surface libre et une zone non saturé* » (Castany & Margat, 1977).

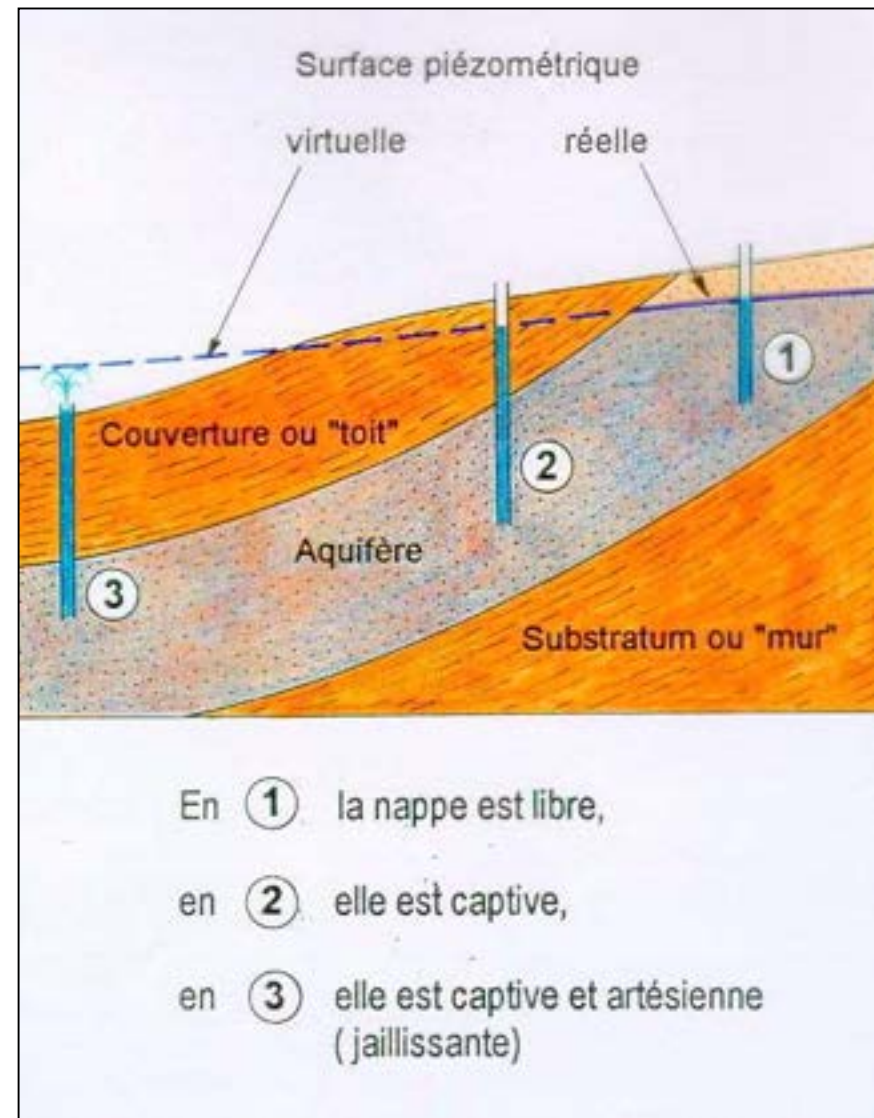
❖ Nappe captive

« *Aquifère entièrement saturé comportant une nappe captive, donc sans surface libre ni zone non saturée, délimité notamment au toit par des formations à perméabilité très faible faisant obstacle à tout flux Appréciable* » (Castany & Margat, 1977). Nappe éventuellement artésienne.

❖ Système multicouches

Aquifères se superposant et séparés par des épontes (couches imperméables à pseudo-perméables), on distingue :

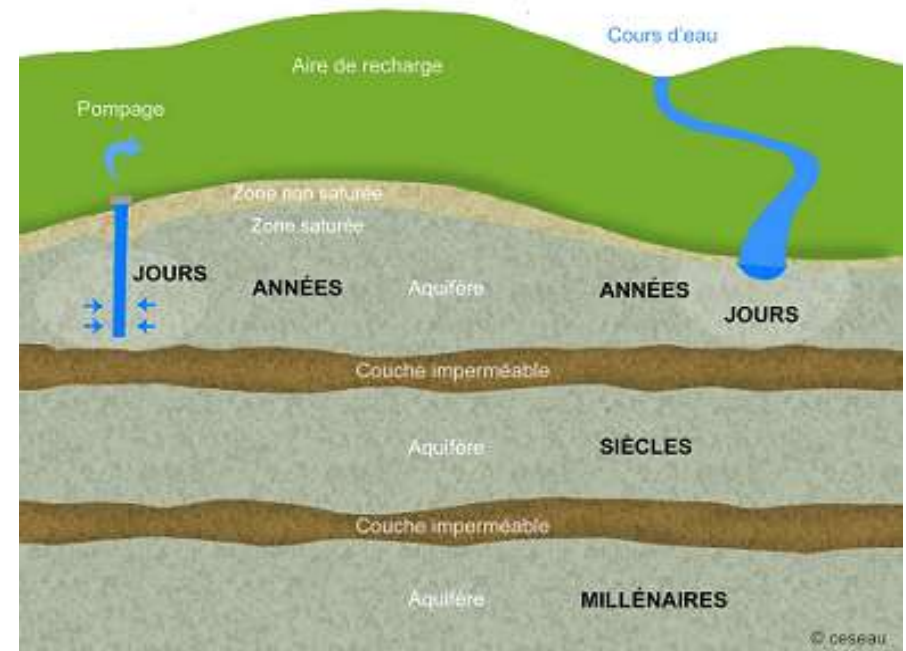
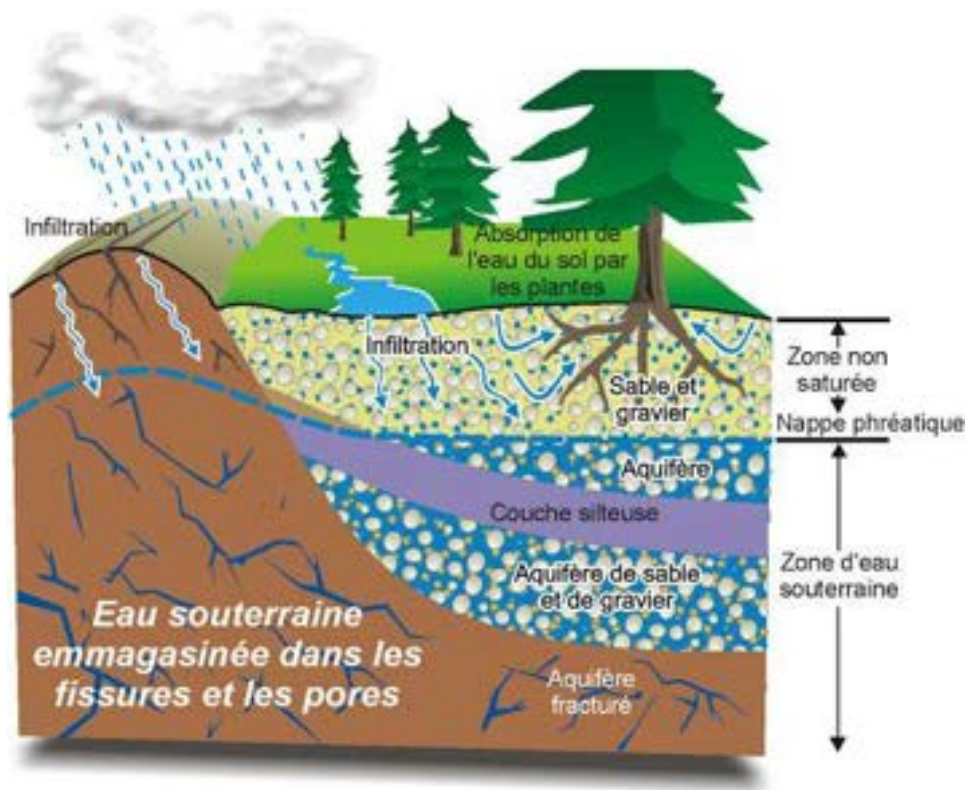
- ✓ les aquifères libres
- ✓ les aquifères captifs



Source : Bardeau M., Allier D. Formation à l'hydrogéologie pour les services de l'Etat. Toulouse, 2014.

Quelques informations

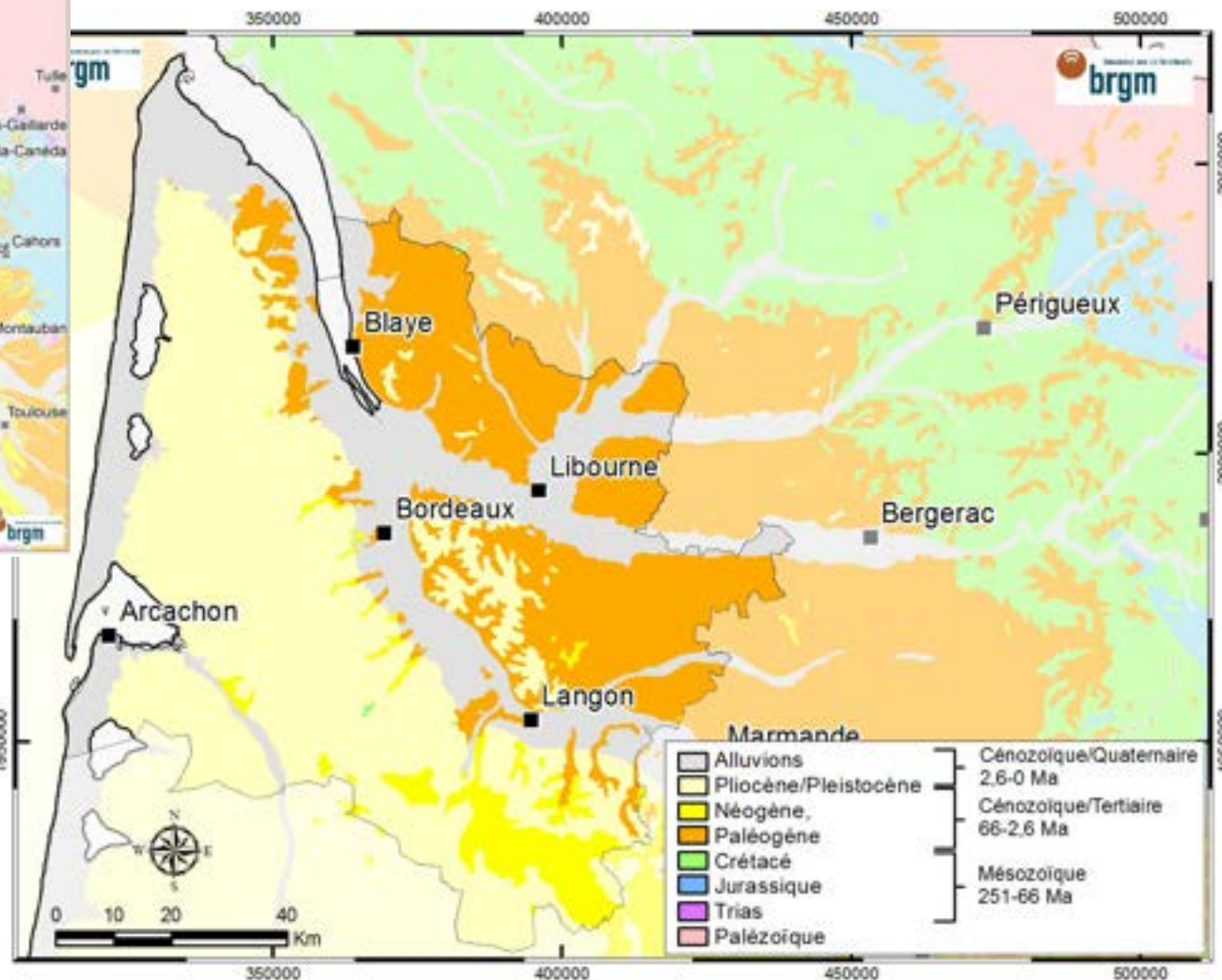
❖ Aquifères, recharge et « temps de séjour »



Echelle de temps des écoulements dans différents aquifères
(d'après Toth, 1995)

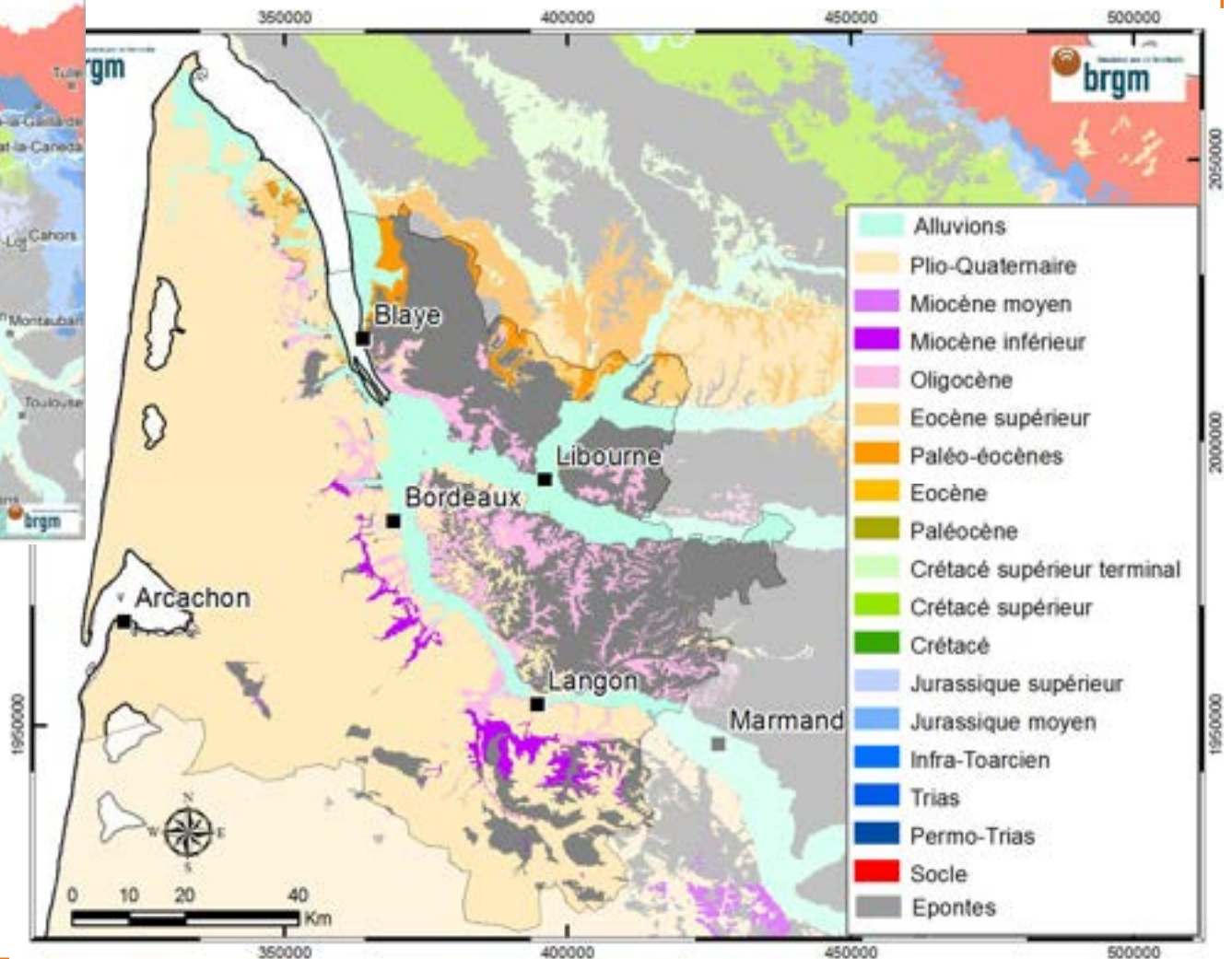
De la géologie ...

- ❖ Bassin sédimentaire aquitain
- ❖ Sédimentation sur plusieurs millions d'années (cycles de transgressions/régressions marines)
- ❖ Disposition des formations en auréoles concentriques

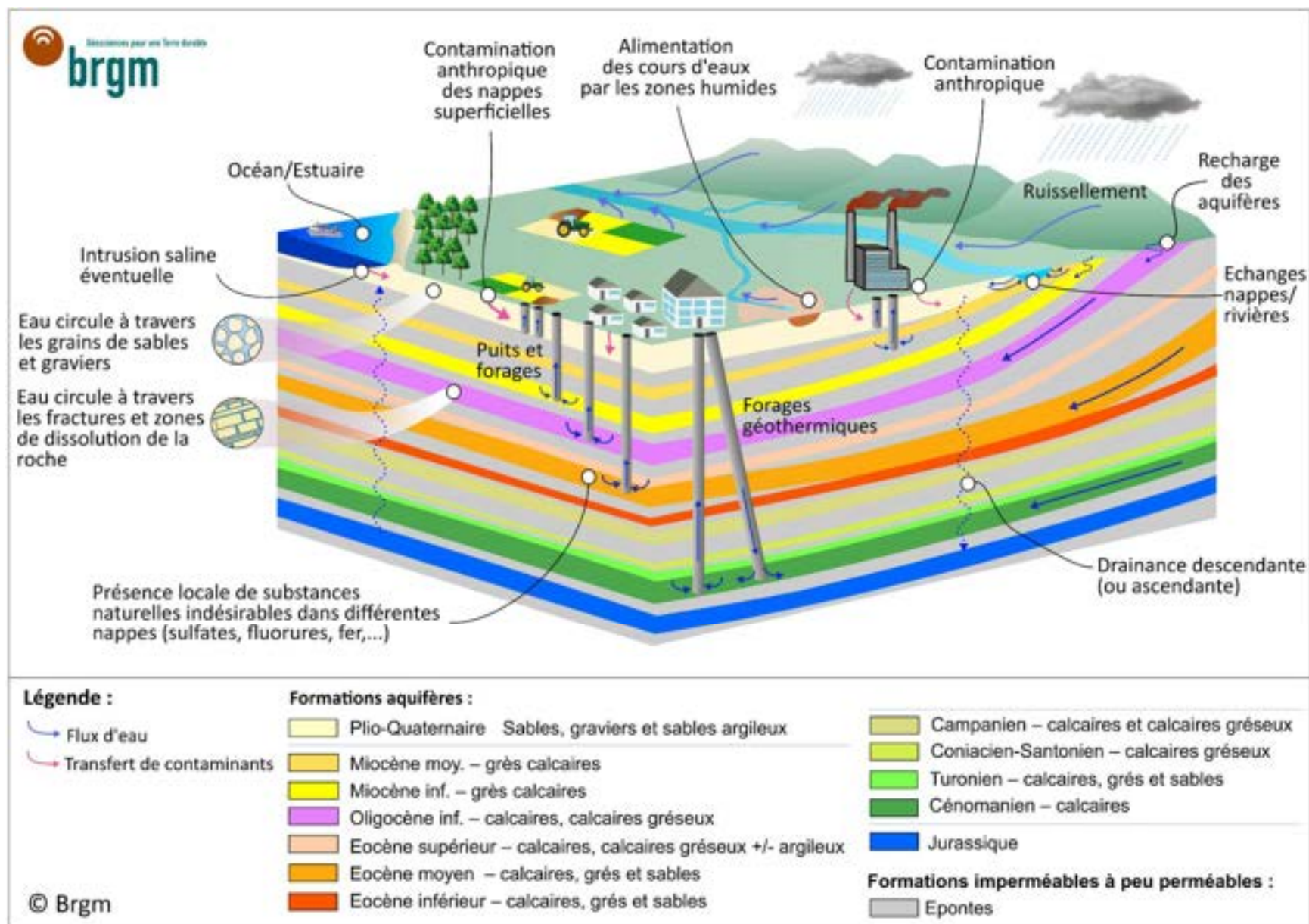


... à l'hydrogéologie

- ❖ Des formations aquifères ou non
- ❖ Des formations aquifères visibles à l'affleurement (Eocène, Oligocène, Miocène et Plio-Quaternaires) et d'autres non (Jurassique et Crétacé)

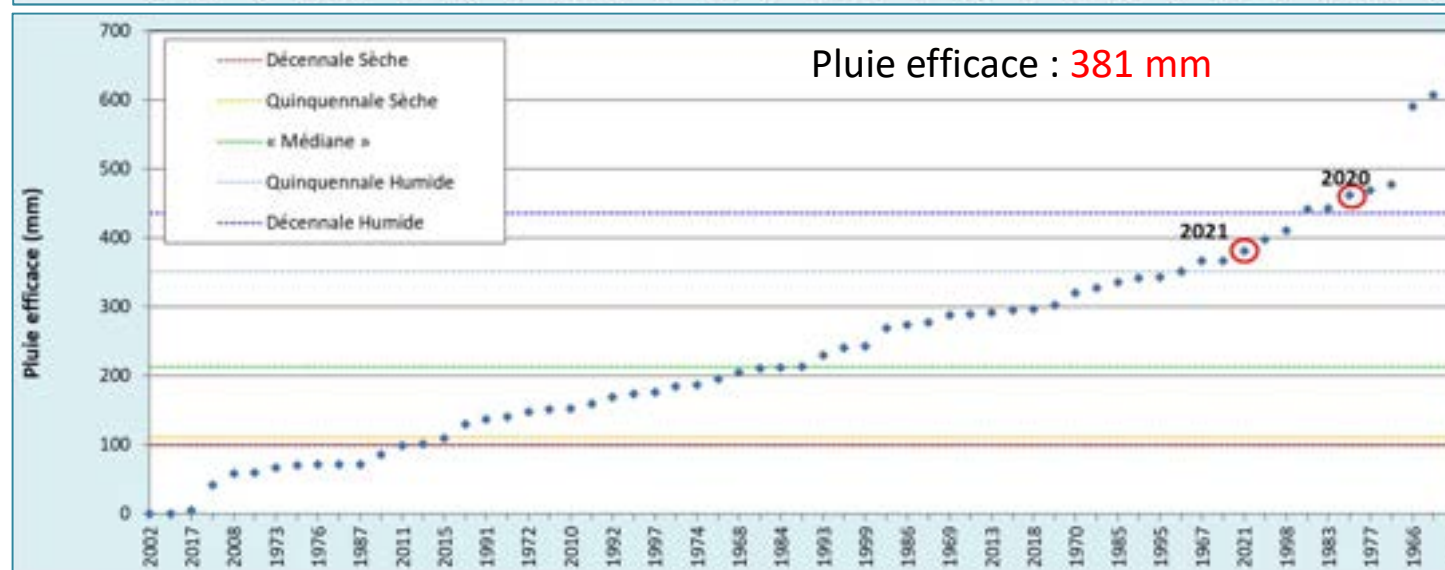
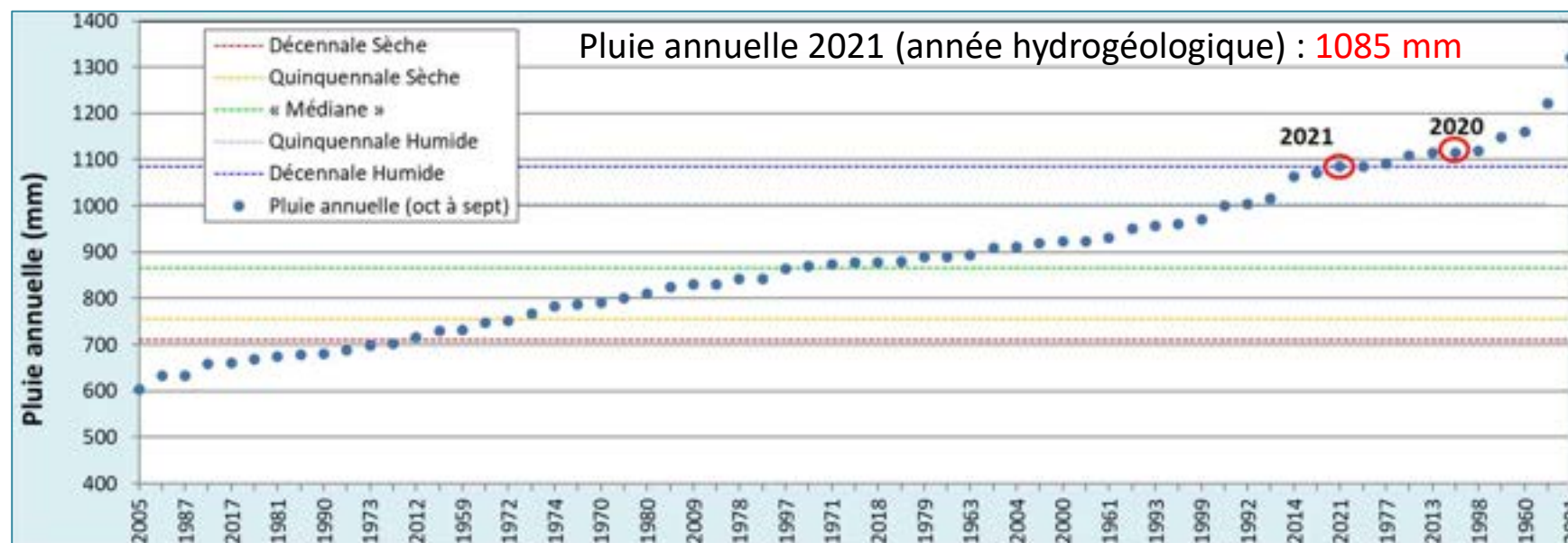


Système multicouches du Bassin aquitain



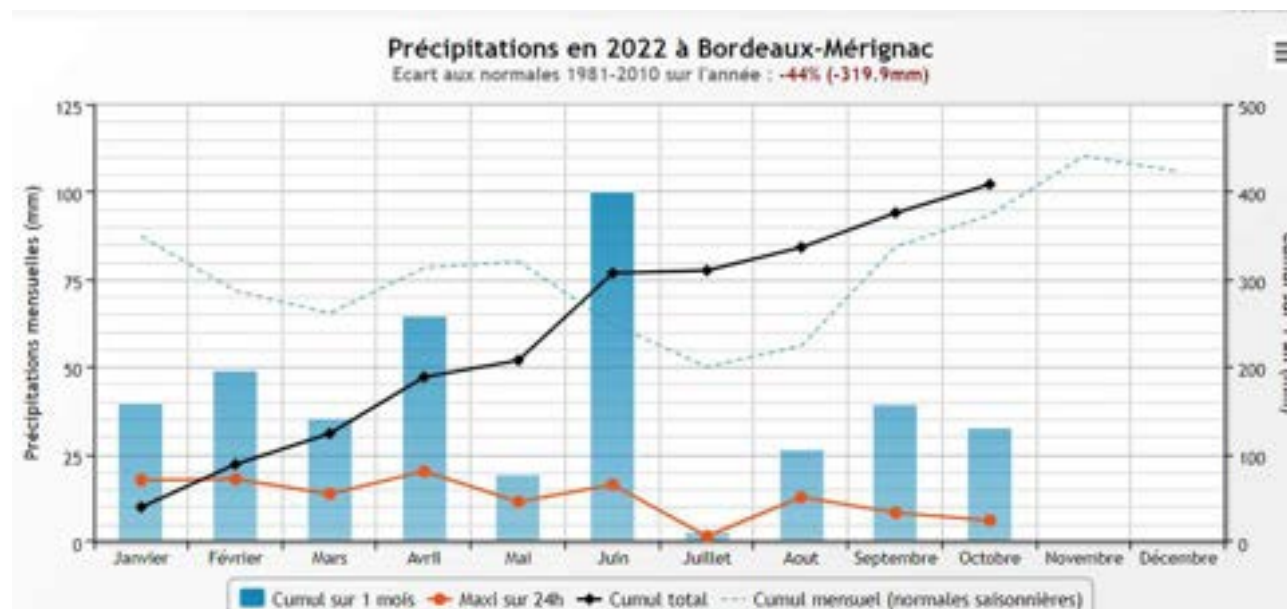
Contexte climatique 2021

Périodes de retour et hauteurs des précipitations sur la période 1973-2021 - données SAFRAN, maille de Mérignac

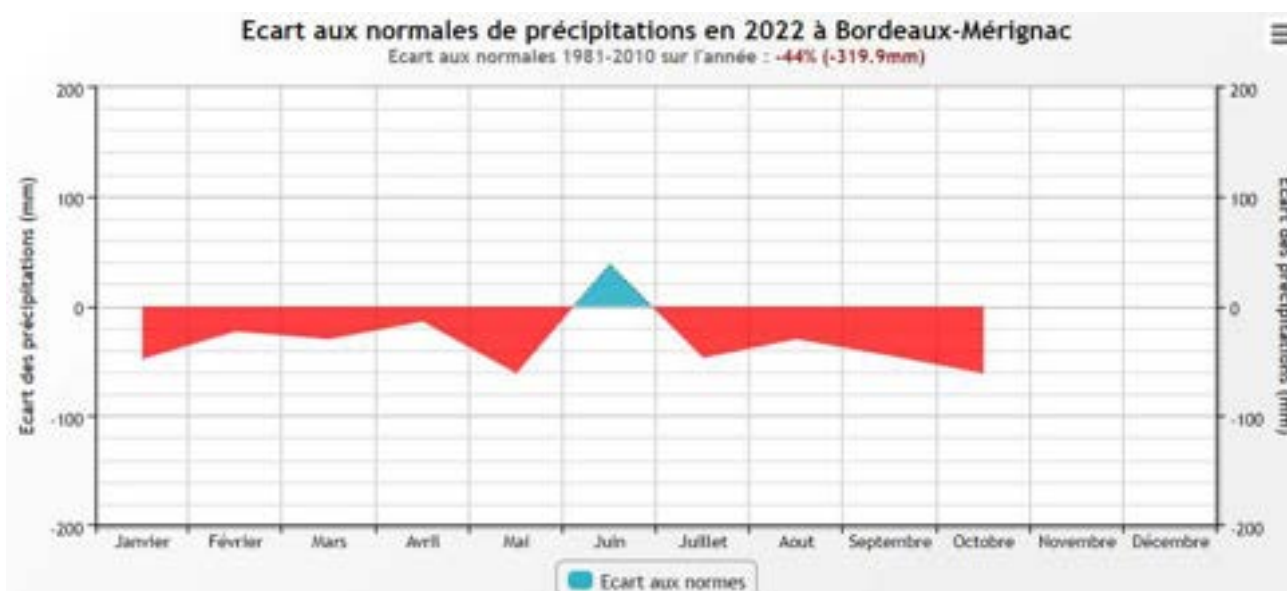


Contexte climatique 2022

- ❖ **Déficit pluviométrique :**
-44 % soient -319,9 mm
par rapport à la normale
saisonnière



- en dessous des normales
saisonnières, excepté en
juin 2022



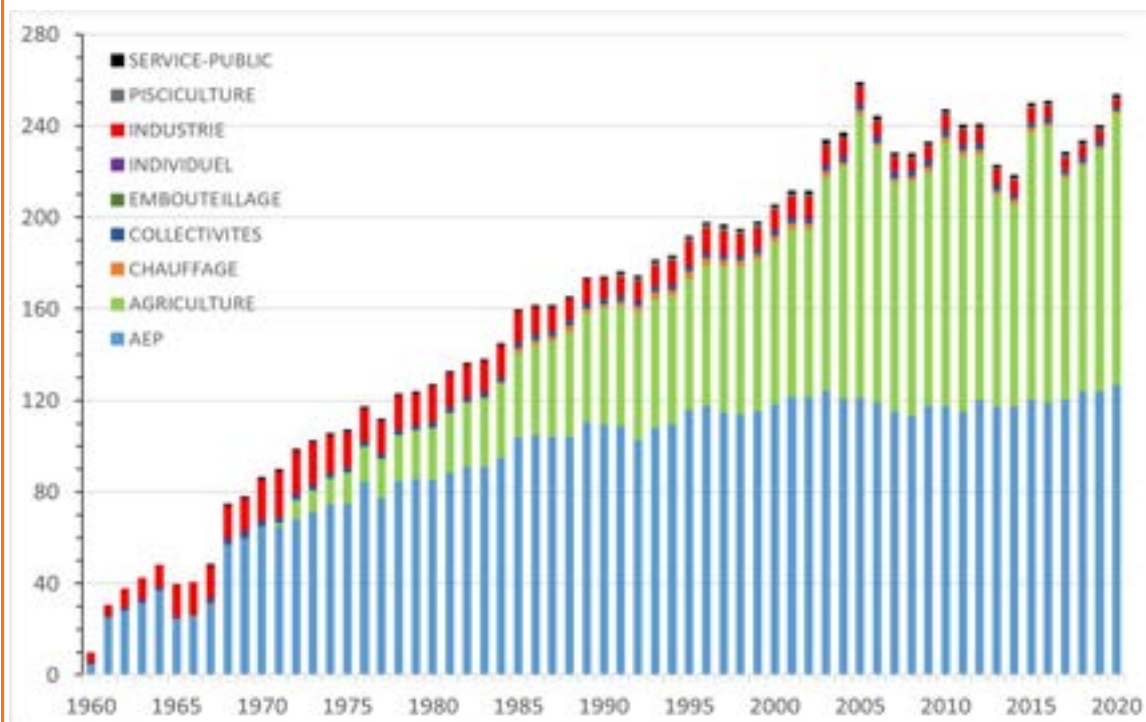
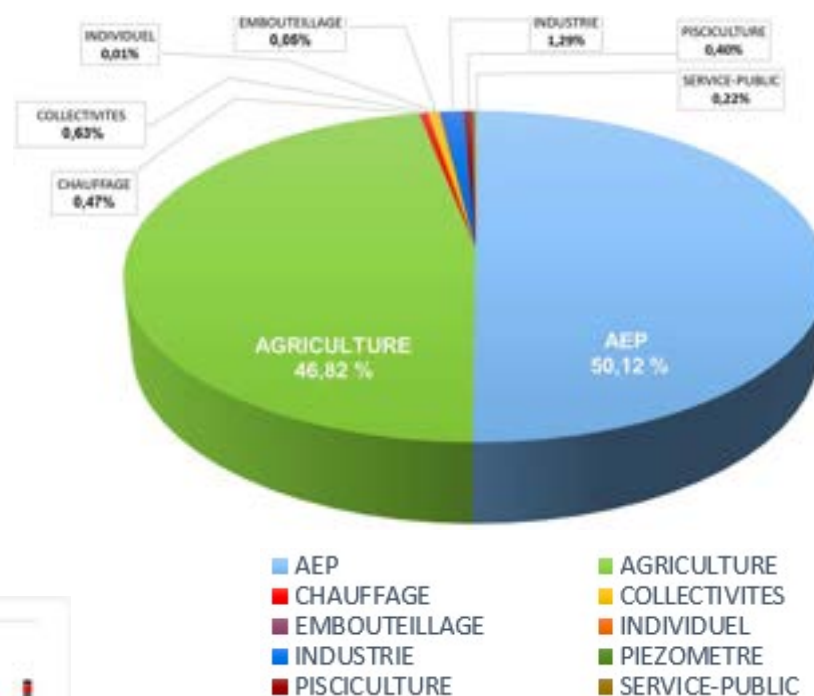
Synthèse des volumes prélevés - 2020

❖ Total des volumes prélevés en Gironde

2020 : 253 Mm³

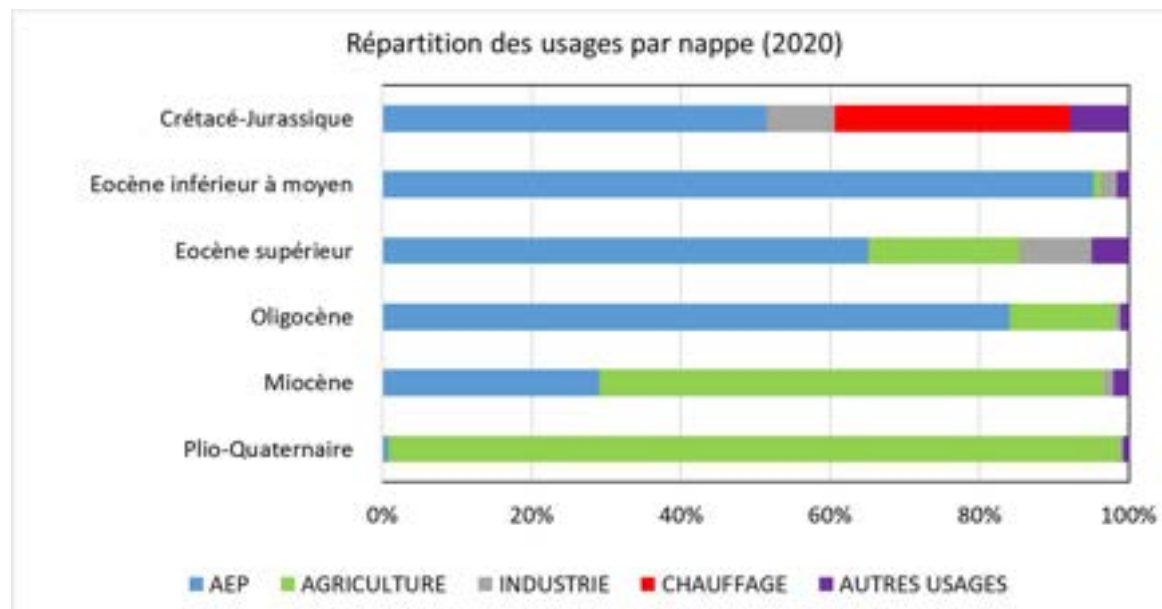
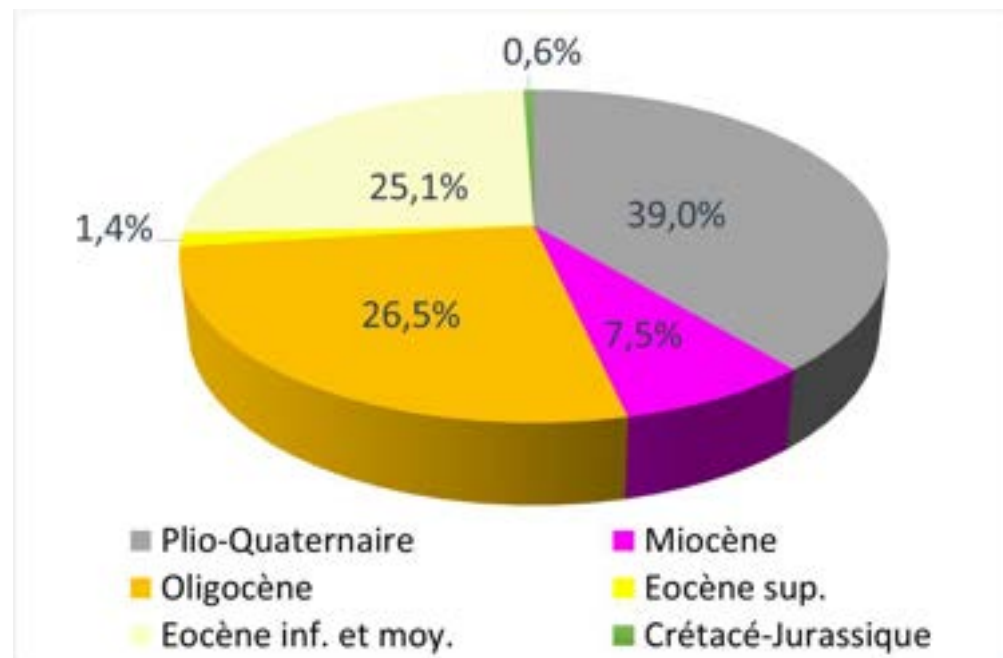
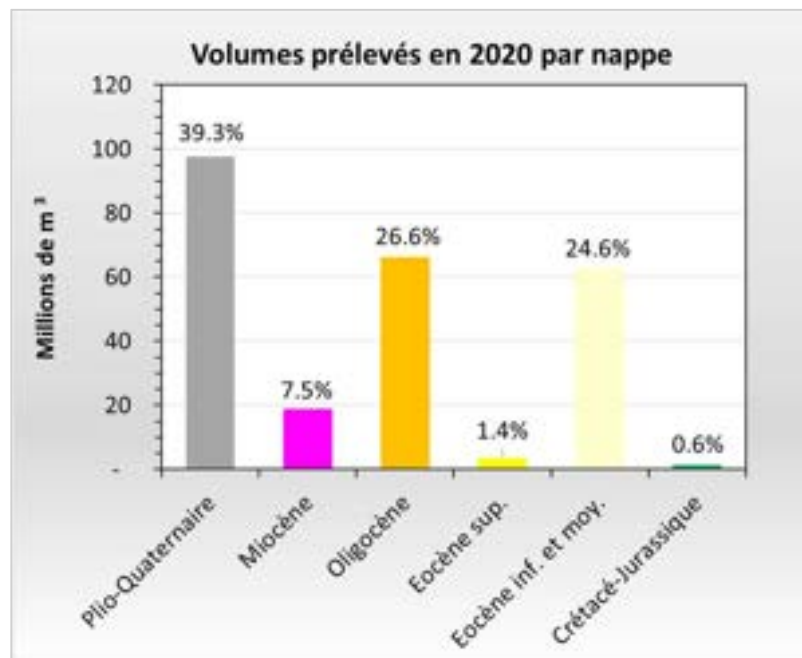
➡ 13 millions de m³ entre 2019 et 2020

- augmentation des prélèvements agricoles calculés (~ 12 Mm³) ;
clef agricole : 99% de V₂₀₀₅
- augmentation de l'AEP (~ 3 Mm³).



← Evolution des prélèvements en eau souterraine en Gironde entre 1960 et 2020 par usage (en millions de m³)

Synthèse des volumes prélevés par nappe - 2020



Synthèse des volumes prélevés - 2021

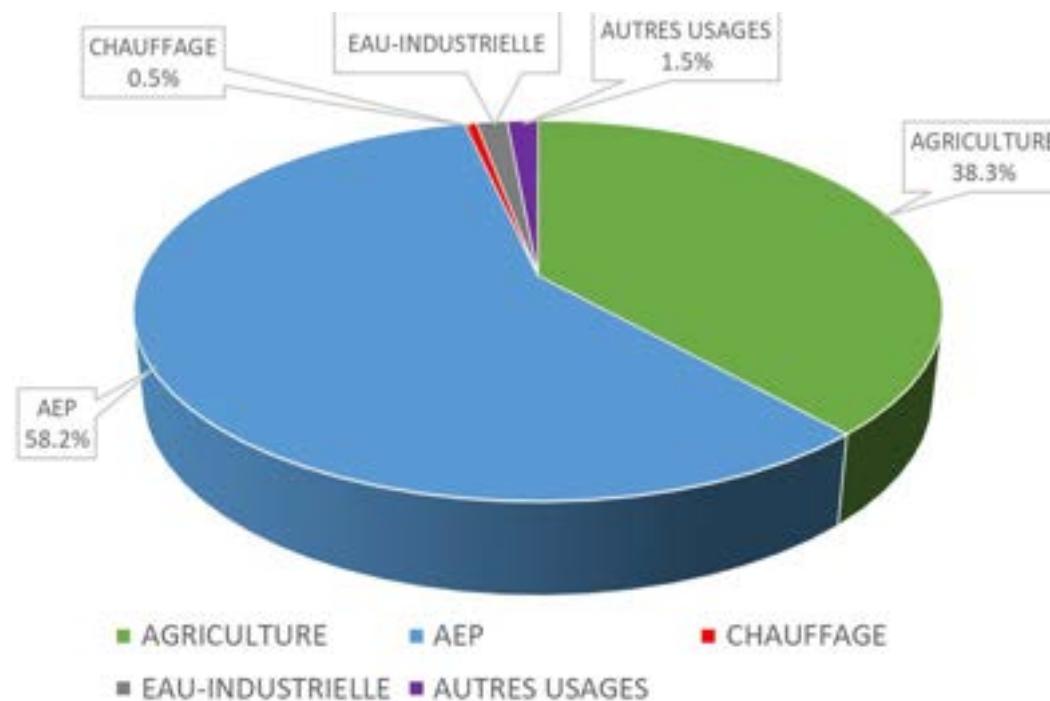
❖ Total des volumes prélevés en Gironde

2021 : 216 Mm³

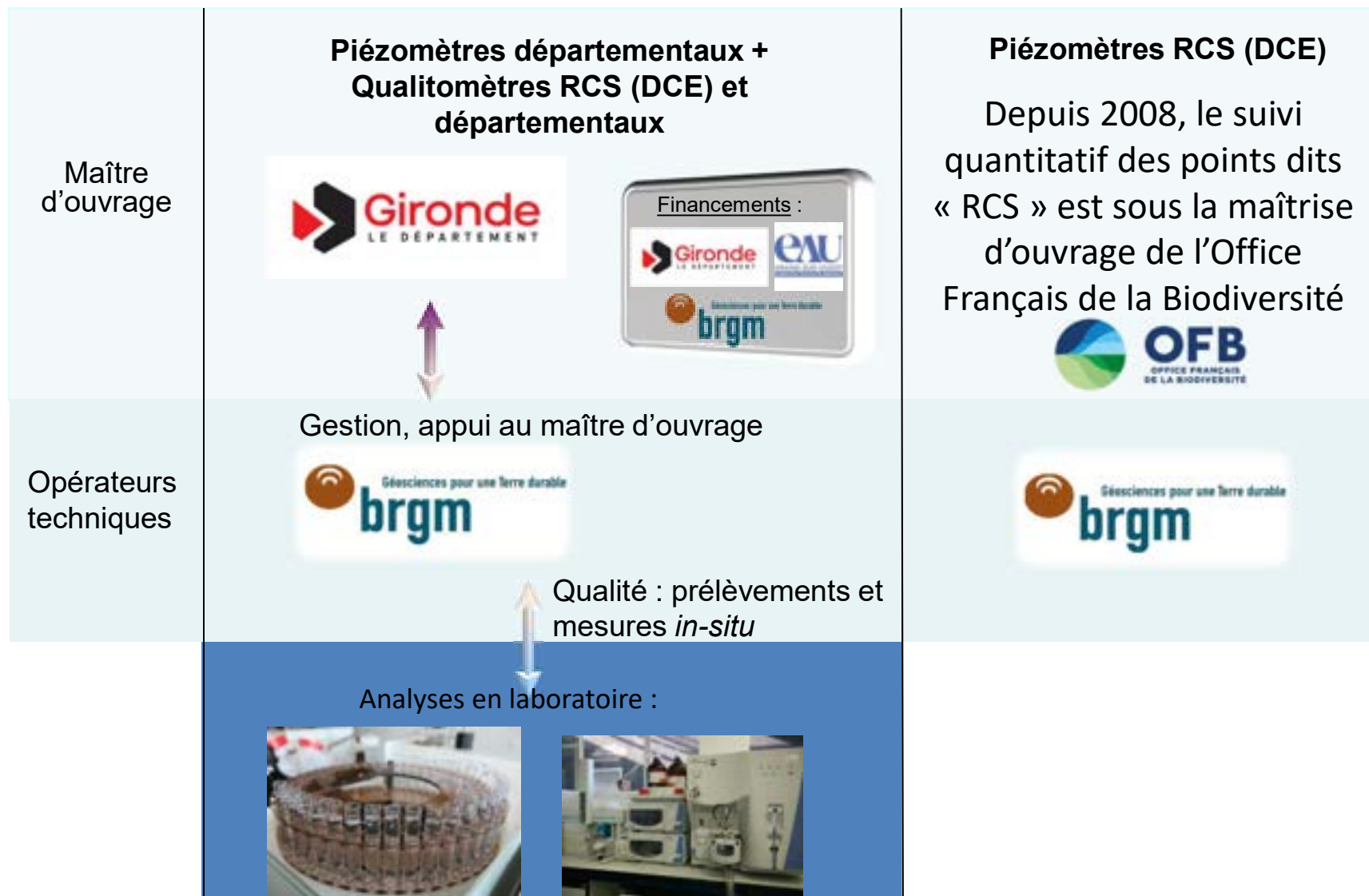
➡ 14,8% entre 2020 et 2021

➤ baisse des prélèvements agricoles (~ 35,8 Mm³) ;
clef agricole : 67% de V₂₀₀₅

➤ Données en cours de traitement.



La gestion quantitative et qualitative des nappes en Gironde



Programme annuel de suivi

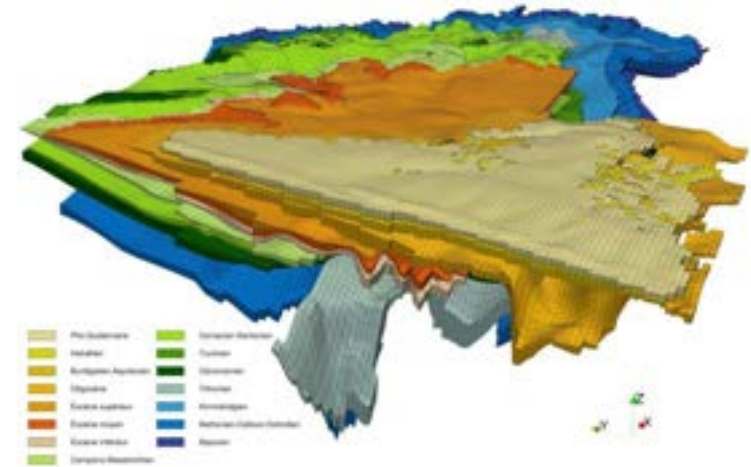
Le suivi des eaux souterraines en Gironde par le Département et le BRGM

- ❖ **Suivi quantitatif des eaux souterraines**, sur 143 points répartis sur l'ensemble du Département (25 en nappes superficielles et 118 en nappes profondes) ;
- ❖ **Suivi qualitatif des eaux souterraines**, sur 52 points répartis sur l'ensemble du Département (28 en nappes superficielles et 24 en nappes profondes) ;
- ❖ Le **pas de temps du suivi quantitatif** est adapté au type de nappe suivie ;
- ❖ Les **paramètres chimiques recherchés** dans les eaux souterraines dépendent de la nature de celles-ci et des possibilités d'impacts anthropiques.

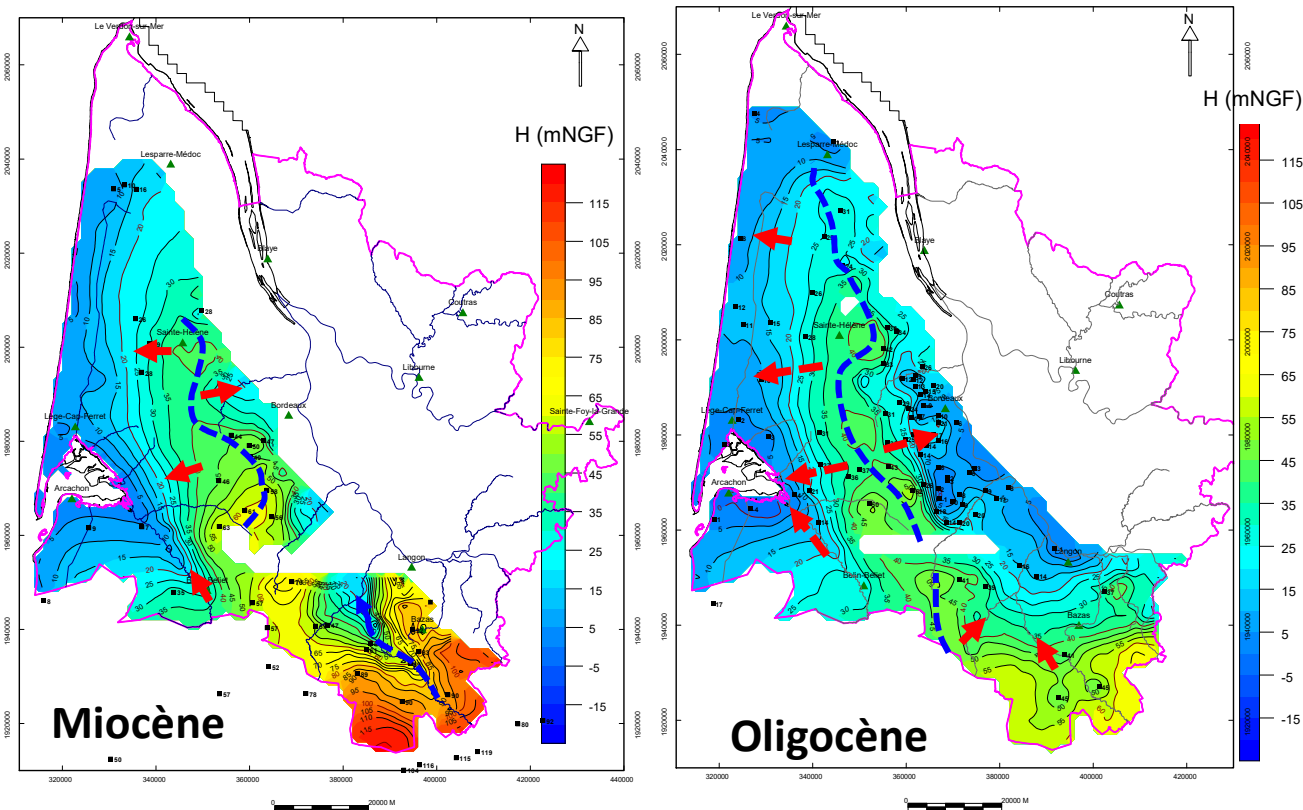


Carte piézométrique 2021 – Nappes Miocène / Oligocène

- ❖ **Crête piézométrique**, de direction +/- nord-sud, passant dans le secteur de Sainte-Hélène ;
- ❖ De cette crête, **les écoulements divergent** entre deux secteurs ouest et est ;
- ❖ Miocène : **drain** de la piézométrie au sud de Langon.

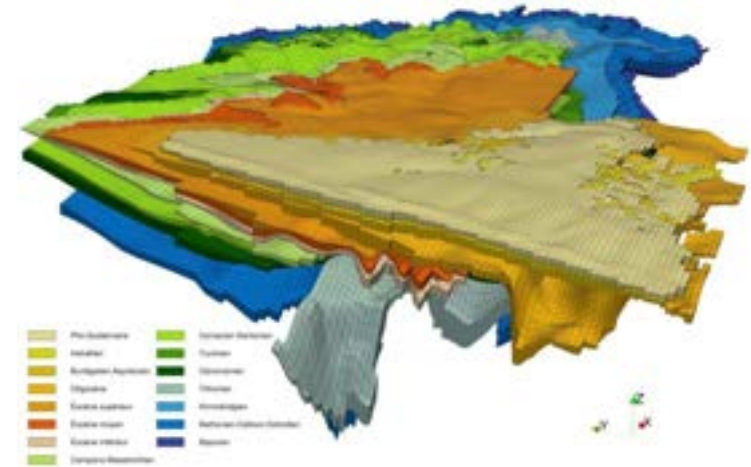


↑ *MODèle Nord-Aquitain (MONA) : représentation 3D des aquifères*

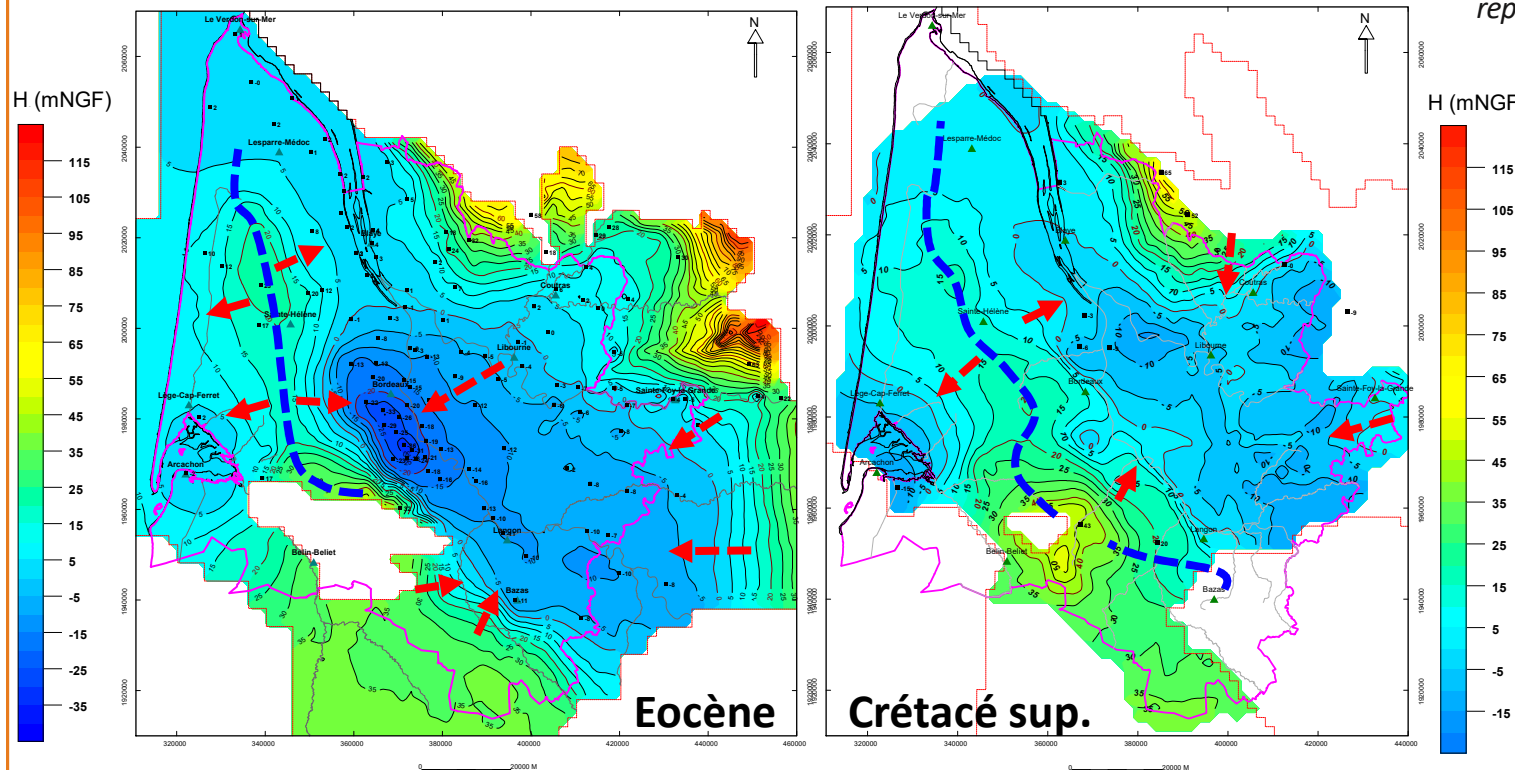


Carte piézométrique 2021 – Nappes Eocène / Crétacé sup.

- ❖ **Crête piézométrique**, de direction +/- nord-sud, passant dans le secteur de Sainte-Hélène ;
- ❖ De cette crête, **les écoulements divergent** entre deux secteurs ouest et est ;
- ❖ Une importante **dépression piézométrique** dans le secteur de l'agglomération bordelaise (-25 m NGF).

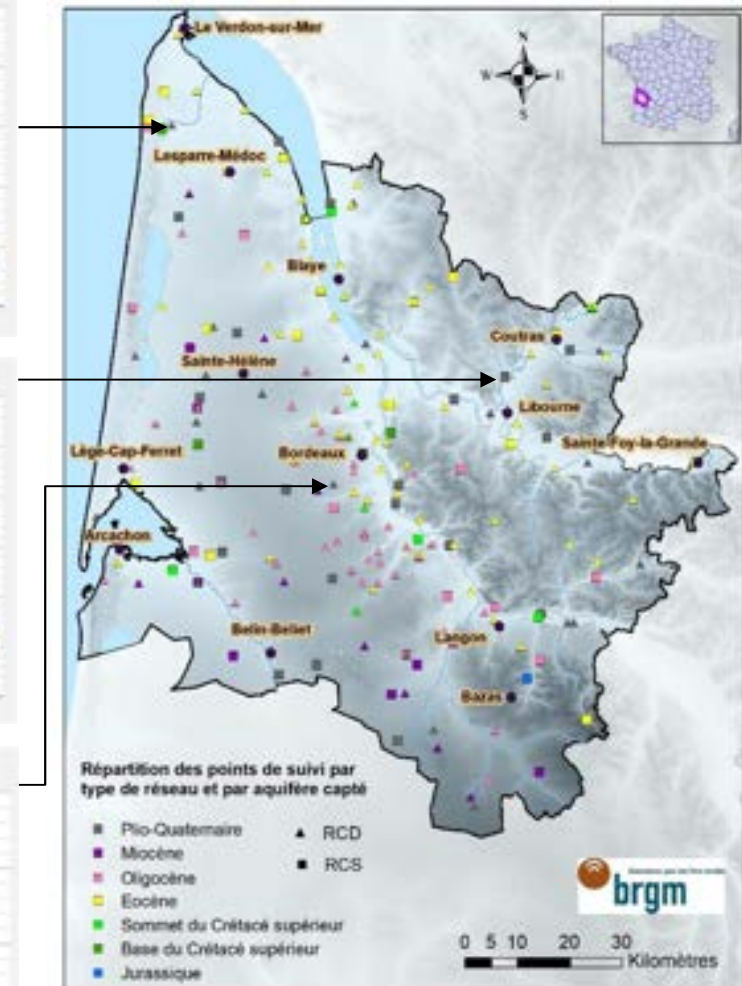
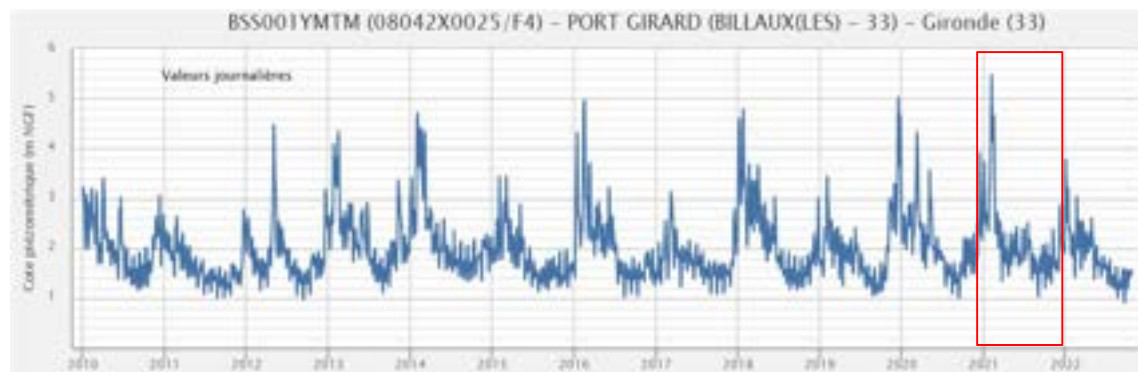
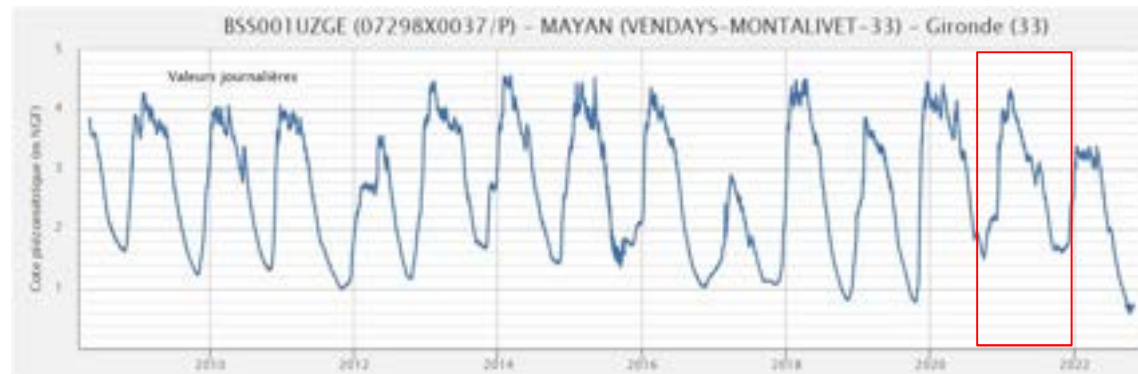


↑ **MOdèle Nord-Aquitain (MONA) :**
représentation 3D des aquifères



Piézométrie 2021– Nappe du Plio-Quaternaire

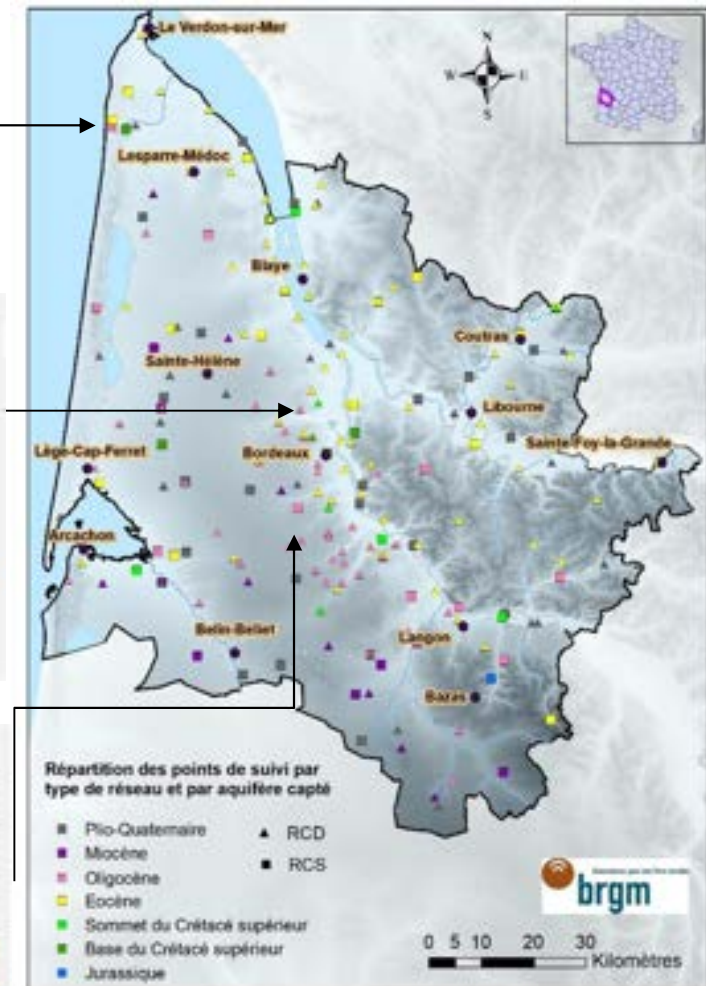
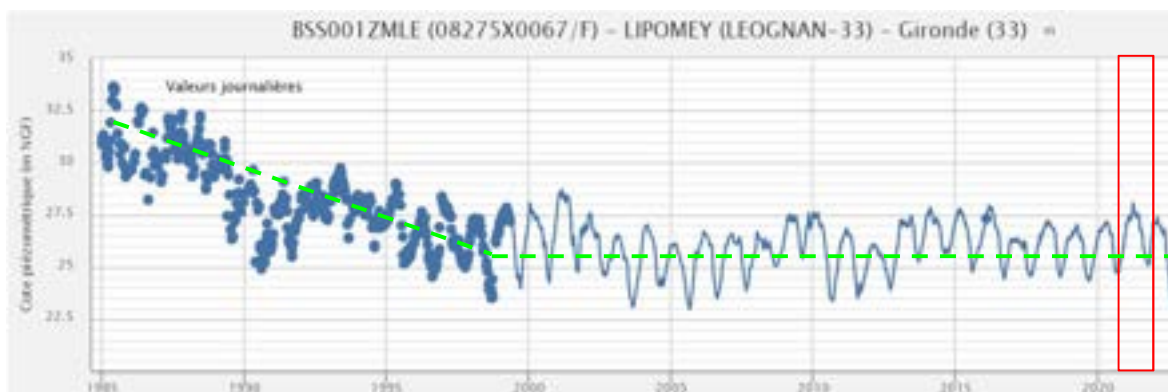
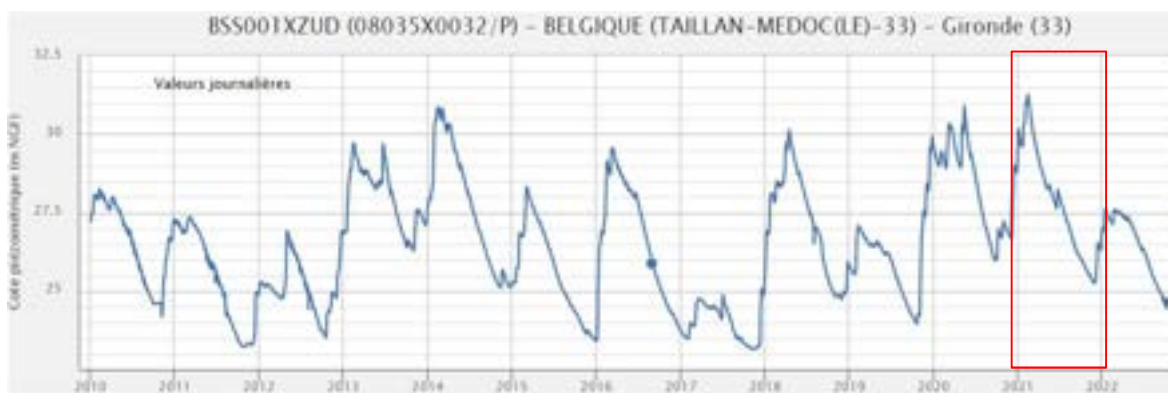
❖ Dynamique de recharge annuelle



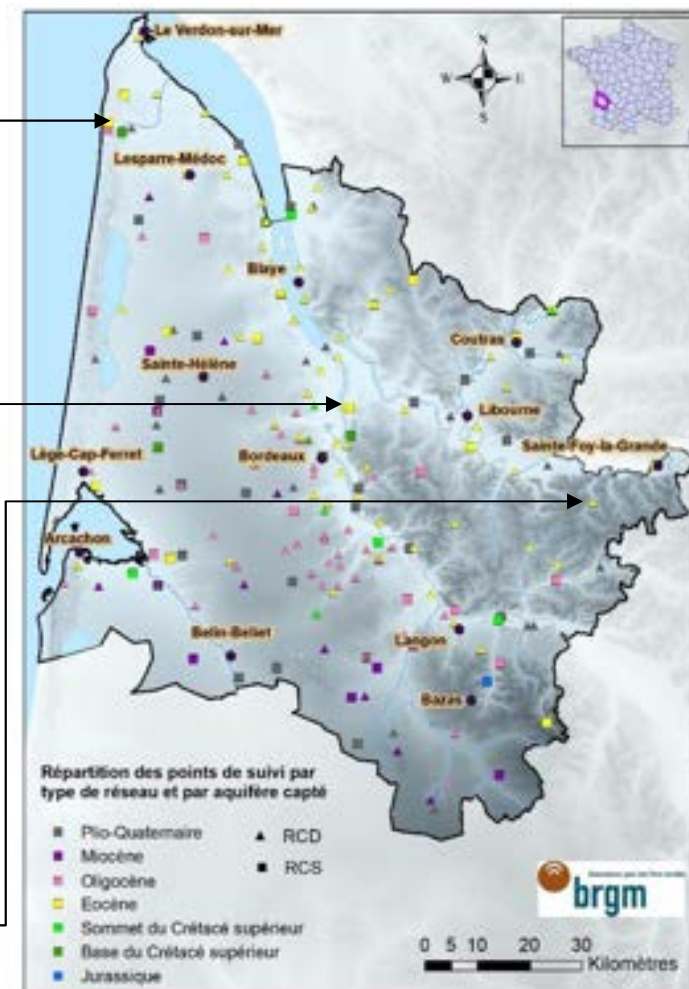
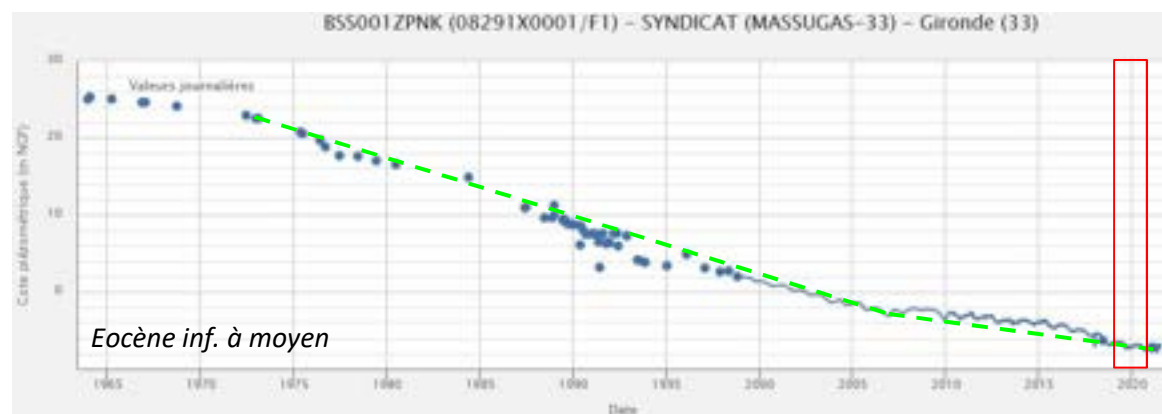
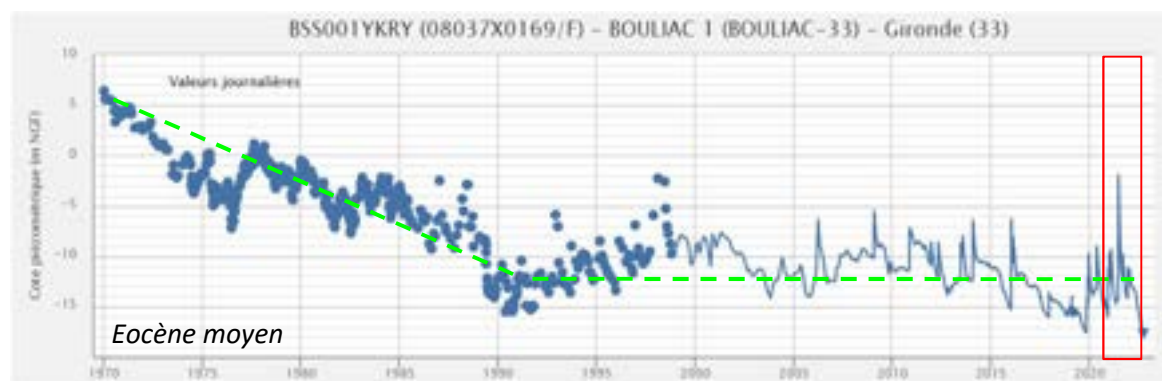
Piézométrie 2021 – Nappe du Miocène



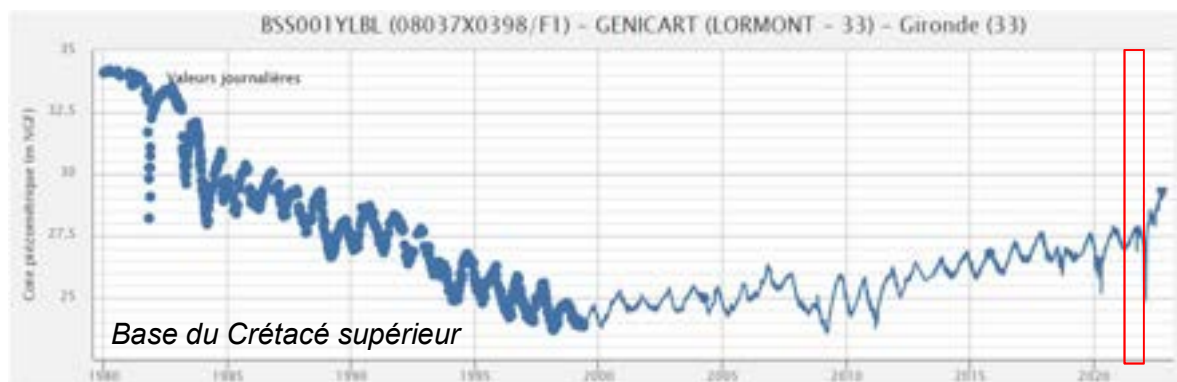
Piézométrie 2021 – Oligocène



Piézométrie 2019-2020 – Eocène



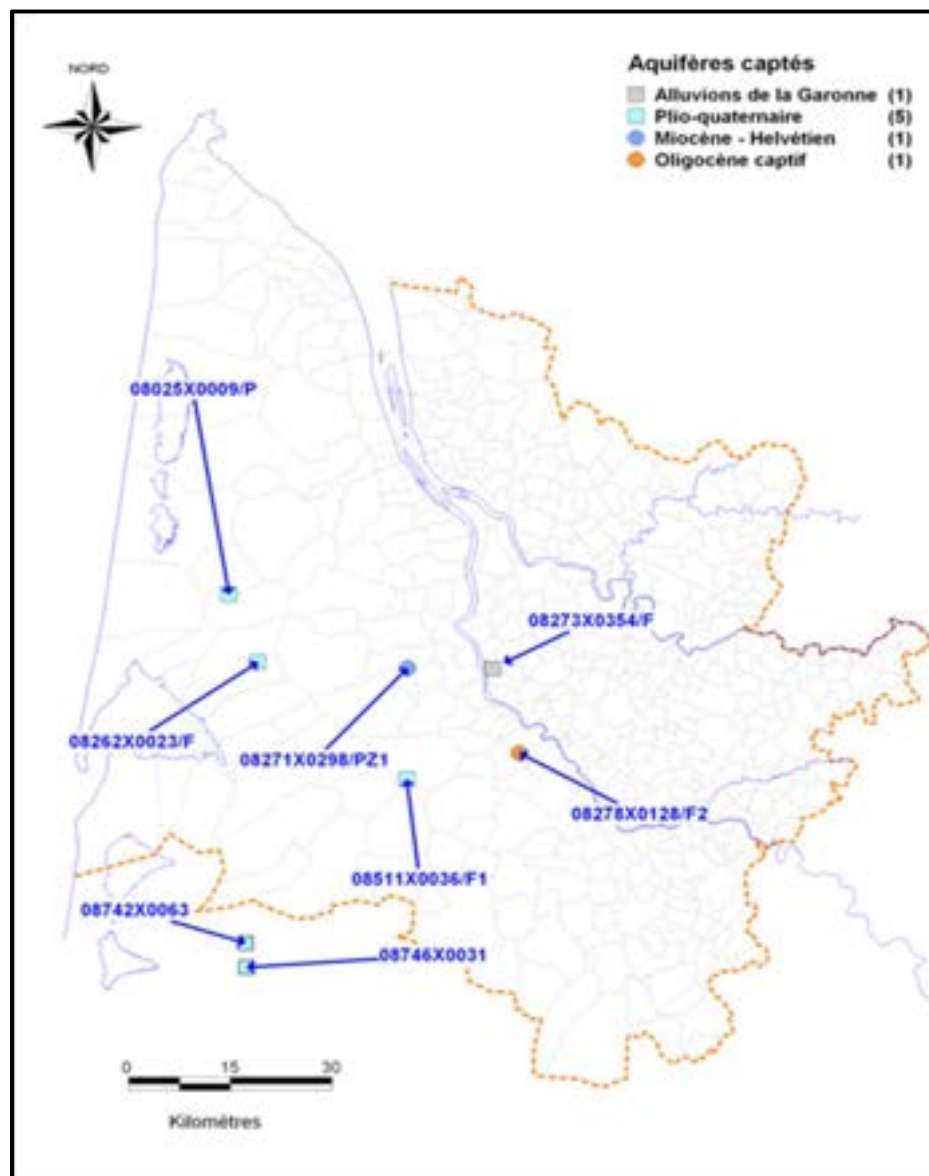
Piézométrie 2021 - Crétacé supérieur



Analyse statistique de la piézométrie - IPS

Département de la Gironde

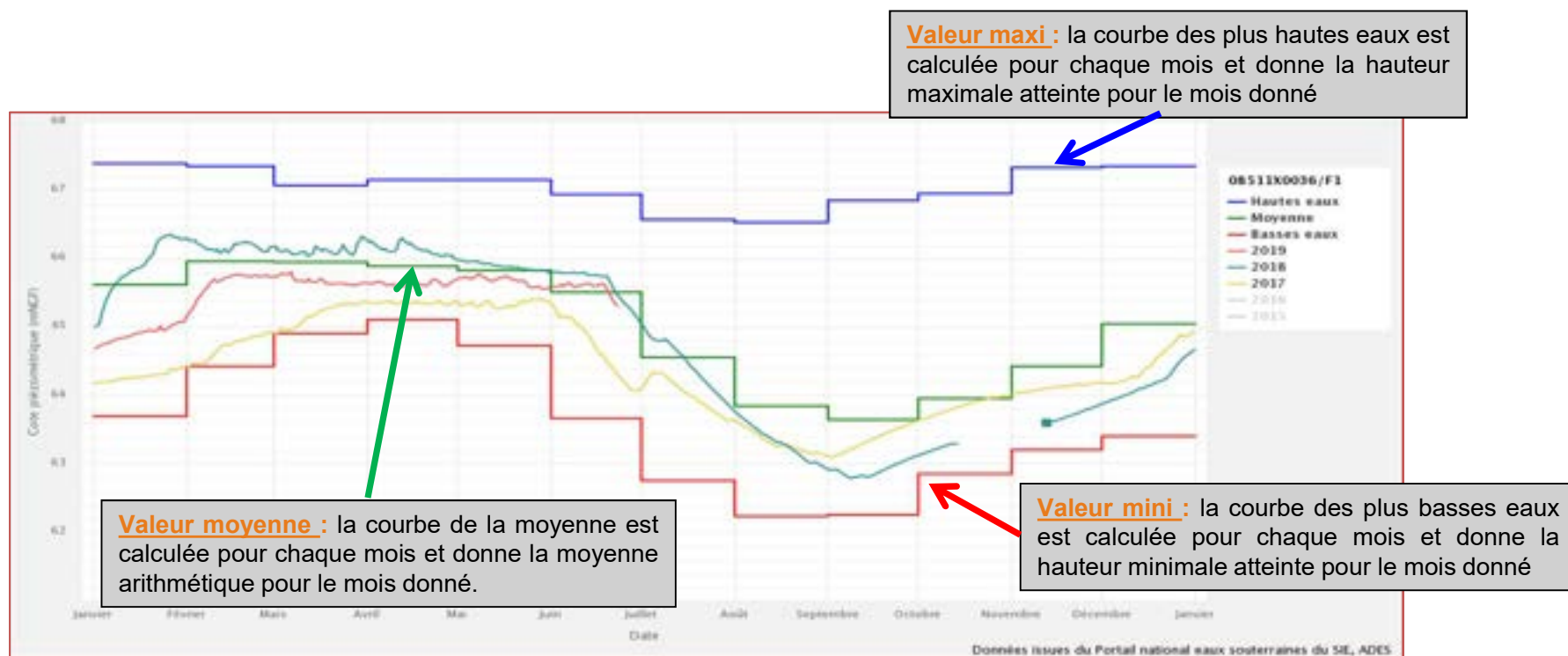
Carte d'implantation des 8 ouvrages d'observation retenus



Analyse statistique de la piézométrie - IPS

❖ Calcul des valeurs max, moyenne et min

- sur l'ensemble de la chronique disponible



- Pour plus de lisibilité sur les graphes présentés, seules 3 à 5 années sont tracées.

Analyse statistique de la piézométrie - IPS

- ❖ L'**Indicateur Piézométrique Standardisé** (IPS) est un mode de calcul permettant de qualifier l'écart à la moyenne des niveaux piézométriques d'une chronique. L'IPS représente **l'évolution mensuelle** du niveau piézométrique, au droit d'un point d'eau, comparativement aux mêmes mois des années antérieures. Autrement dit, il permet de positionner le niveau piézométrique moyen mensuel par rapport à ceux de l'ensemble de la série.
- ❖ L'IPS a été tracé pour 7 des 8 ouvrages retenus. Il n'a pas pu être calculé sur le forage M. Robert (Le Temple) à sec depuis le 24 juillet 2022.
- ❖ Son calcul doit **respecter les 2 critères** suivants :
 - ✓ une période minimale de 15 ans pour calculer l'indicateur,
 - ✓ l'existence d'au moins 15 valeurs moyennes mensuelles pour tous les mois de l'année.

A noter que l'IPS, quand il est calculé en cours de mois, n'est que provisoire et reste à valider une fois le mois écoulé. **Il est calculé dans le présent bulletin entre le 1^{er} et le 30 septembre 2022.**

Bulletin situation des nappes – septembre 2022

Situation des nappes au 1^{er} septembre 2022

Bulletin de Situation Hydrogéologique

Méthodologie :

Cette carte présente les indicateurs globaux traduisant les fluctuations moyennes des nappes. Ces derniers sont intégrateurs d'indicateurs ponctuels correspondant à des points de surveillance du niveau des nappes (piézomètres).

L'évolution récente traduit la variation du niveau d'eau du mois échu par rapport aux 2 mois précédents (stable, à la hausse ou à la baisse).

L'indicateur du niveau des nappes traduit quant à lui l'écart à la moyenne de la chronique du mois courant. Il est réparti en sept classes, du niveau le plus bas (en rouge), au niveau le plus haut (en bleu foncé).

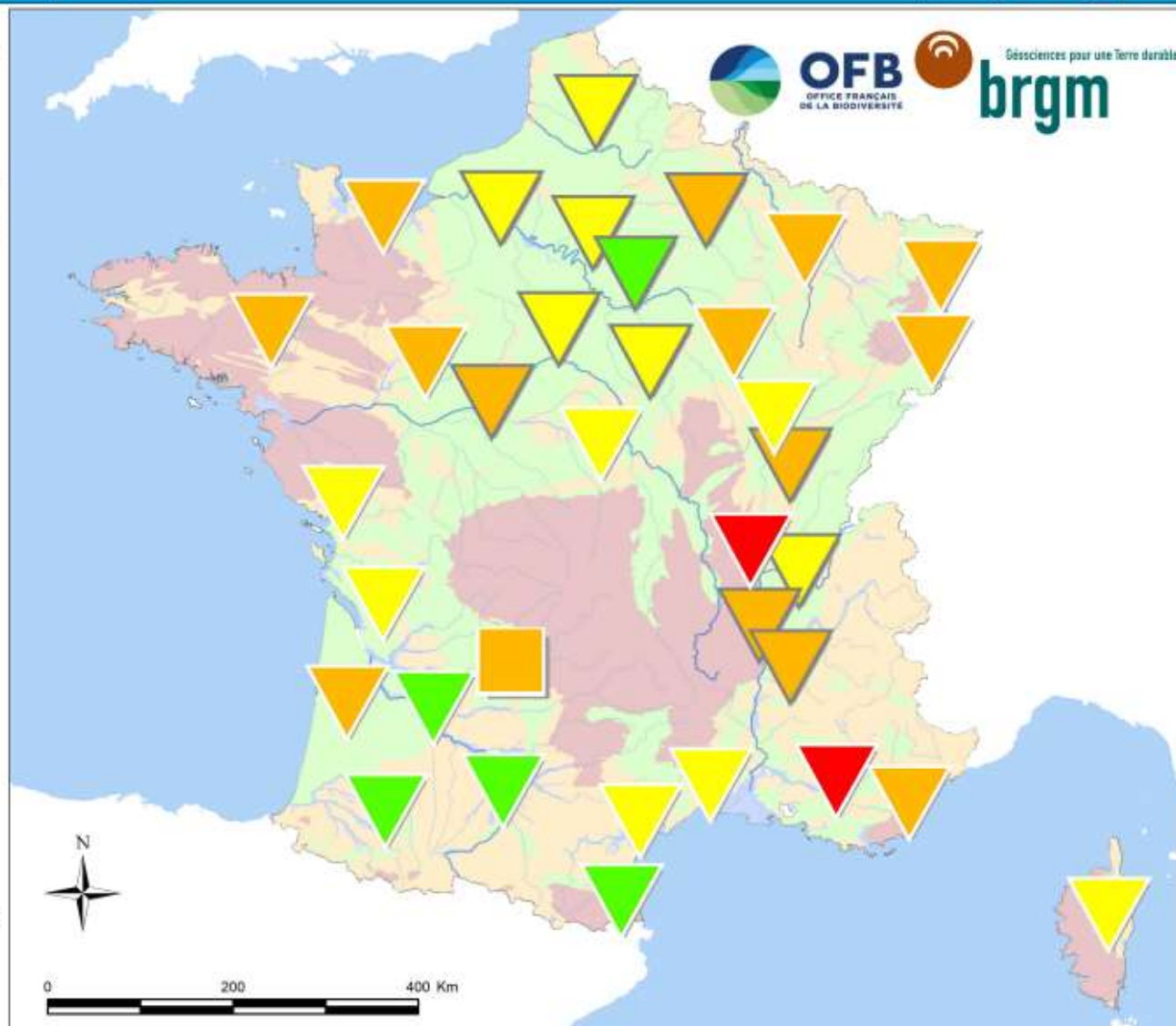
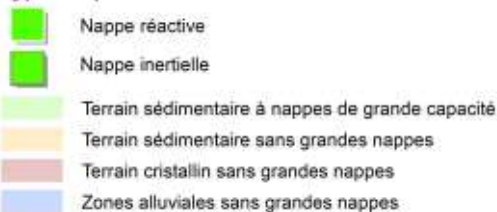
Evolution récente des niveaux :



Niveau des nappes :



Type d'aquifère :



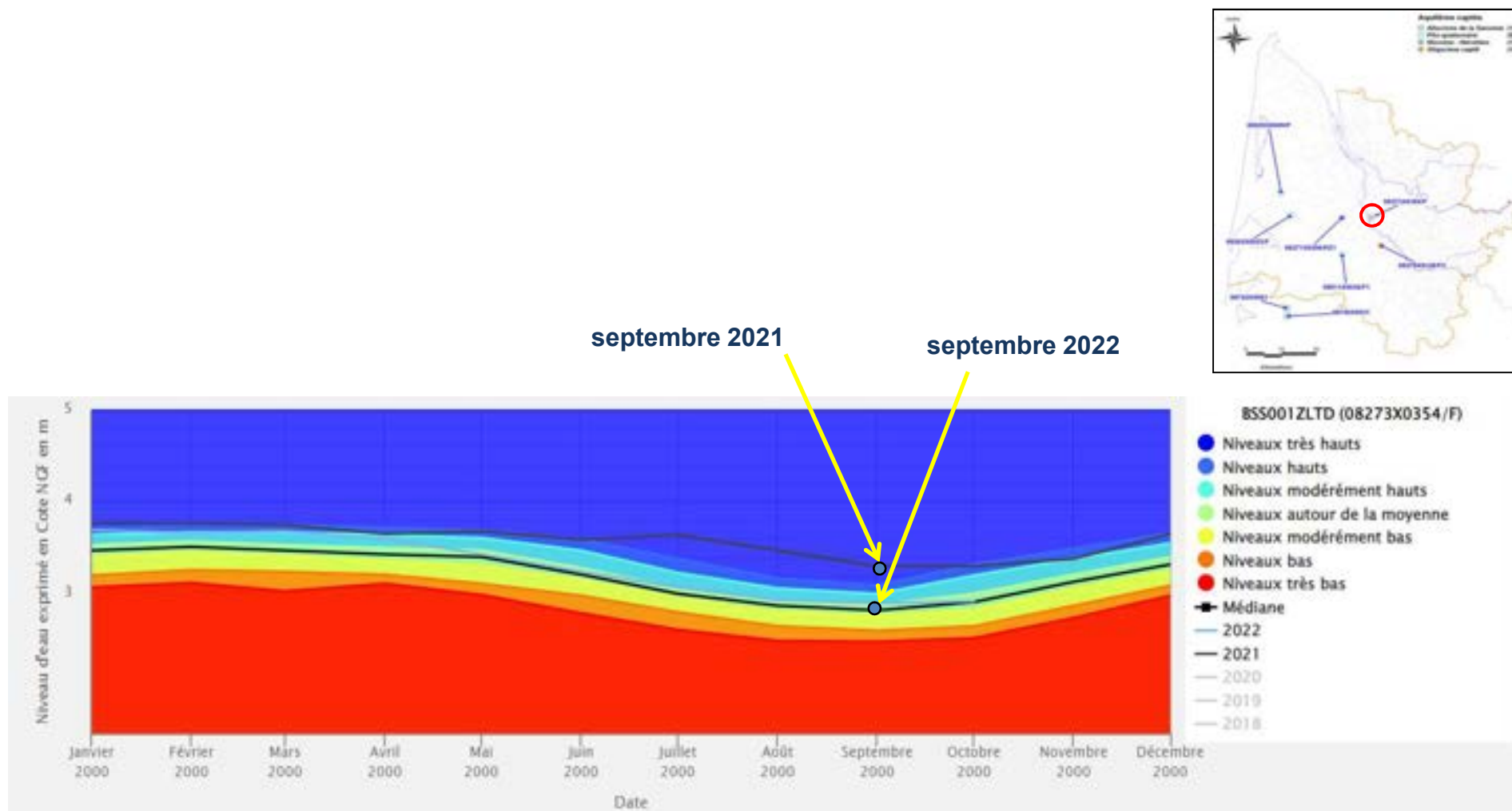
Carte établie à partir des données de la banque ADES acquises jusqu'au 31 août 2022

Source des données : banque ADES www.ades.eaufrance.fr / Fonds topographiques : IGN© - BD CARTO

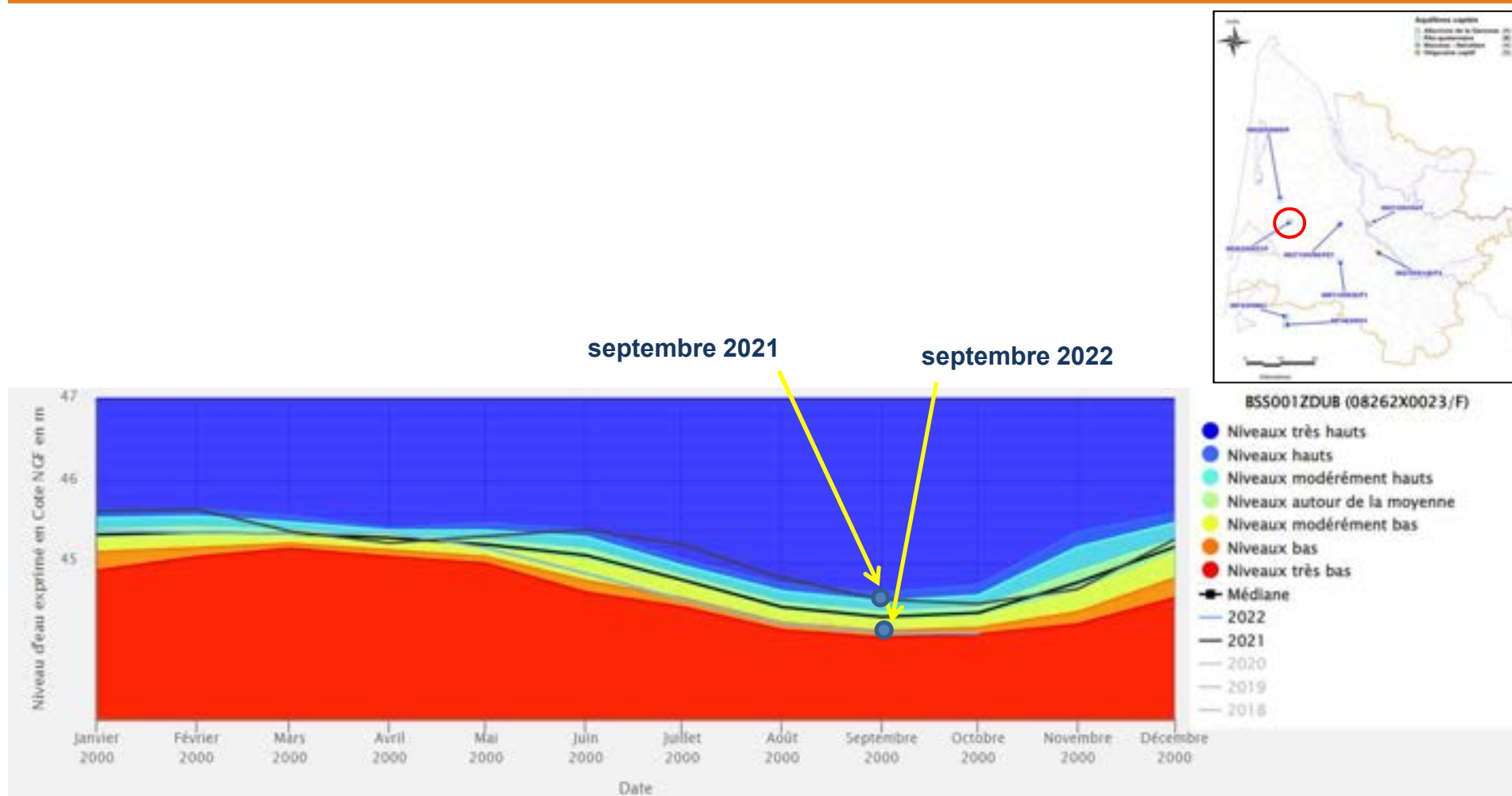
Réalisation : BRGM, le 09/09/2022

Version : Presse

Piézométrie 2021 – Alluvions de la Garonne (Latresne)

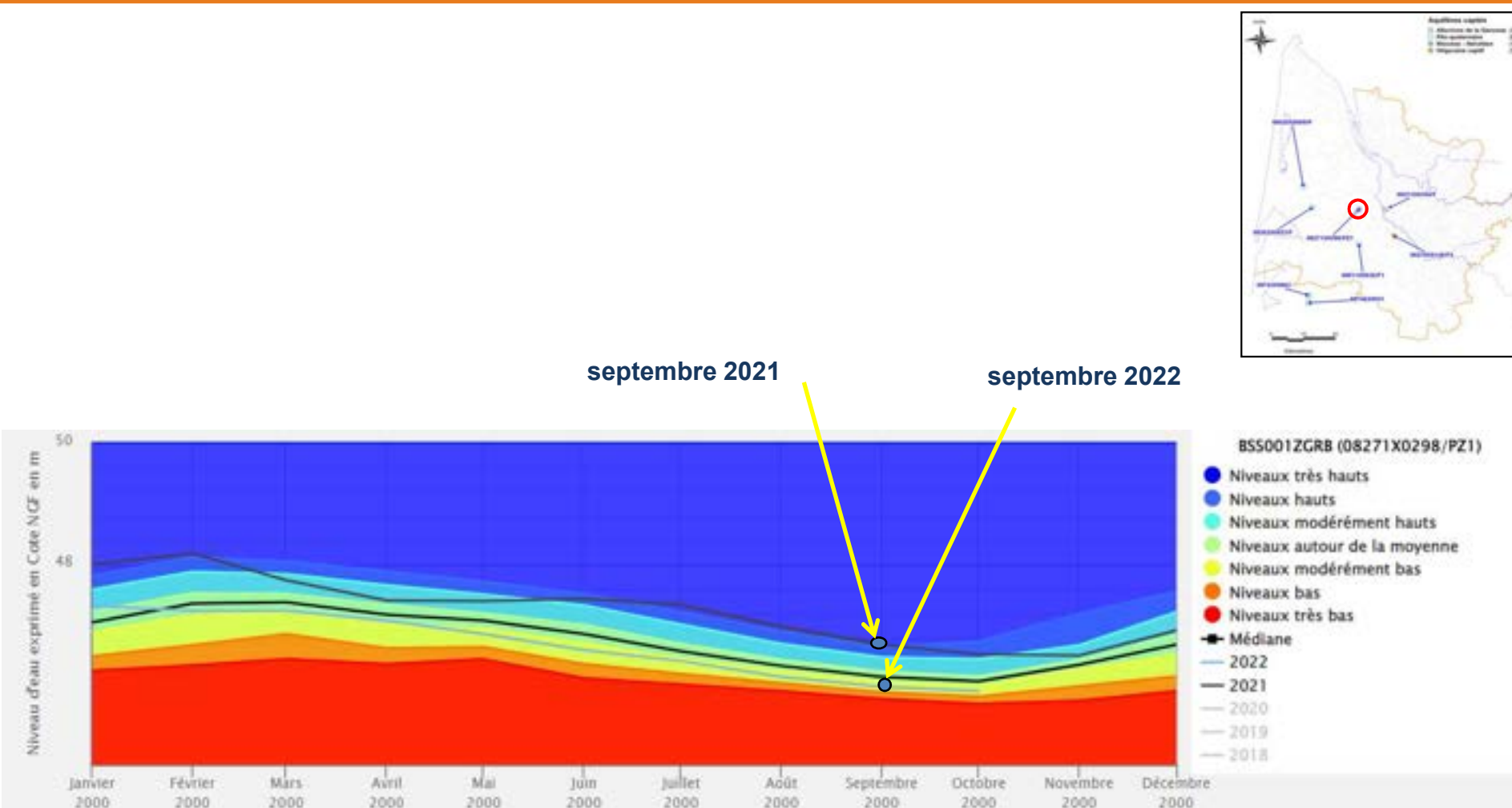


Piézométrie 2021 – Nappe du Plio-Quaternaire (Blagon)



08262X0023/F (BSS001ZDUB) - Puits DFCI Lieu-dit Blagon - LANTON - Nappe libre du Plio-Quaternaire

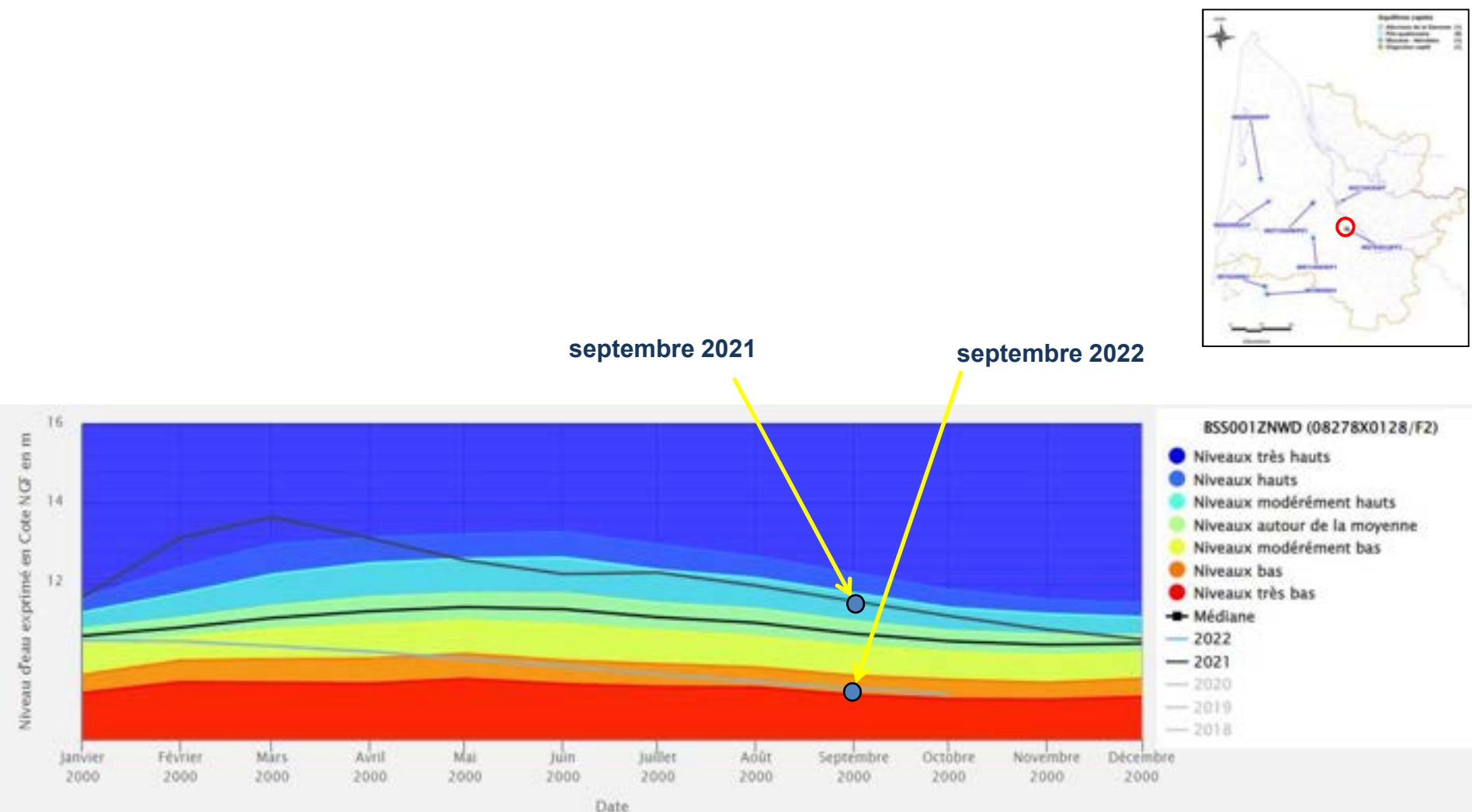
Piézométrie 2021– Miocène (Helvétien) à Pessac



BSS001ZGRB (08271X0298/PZ) – Forage BRGM – PESSAC – Nappe du Miocène (Helvétien)

IPS: Indicateur Piézométrique Standardisé

Piézométrie 2021 – Oligocène (Portets)



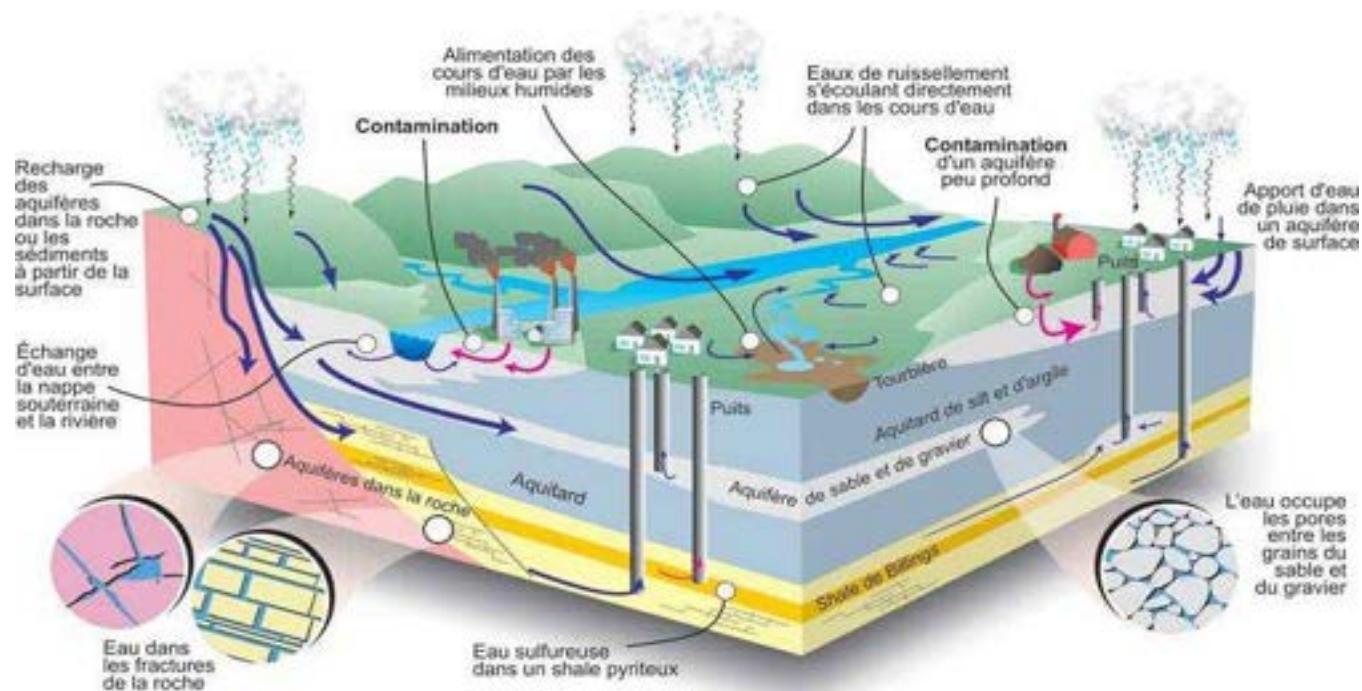
BSS001ZNWD (08278X0128/F2) – Forage Grangeneuve – PORTETS – Nappe de l'Oligocène

IPS: Indicateur Piézométrique Standardisé

Chimie générale des eaux souterraines

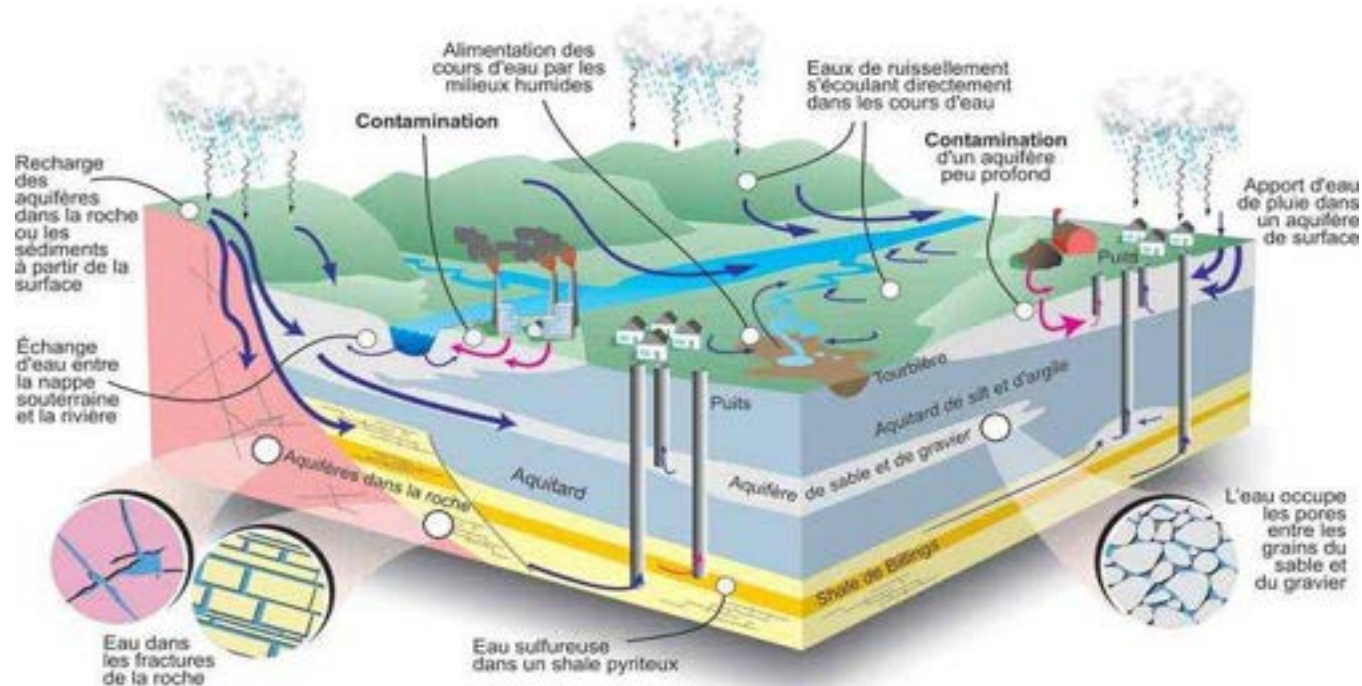
- ❖ La composition des eaux naturelles résulte d'un ensemble de processus d'altération des roches - nombreuses réactions physico-chimiques et biochimiques
- ❖ La composition chimique des eaux est dominée par la présence de certains ions - appelés ions majeurs - :
 - 3 anions : hydrogénocarbonates, sulfates et chlorures ;
 - 4 cations : calcium, magnésium, sodium et potassium.

A partir de l'analyse de ces ions majeurs → caractérisation du faciès géochimique (dépend notamment de la matrice aquifère)



Chimie générale des eaux souterraines

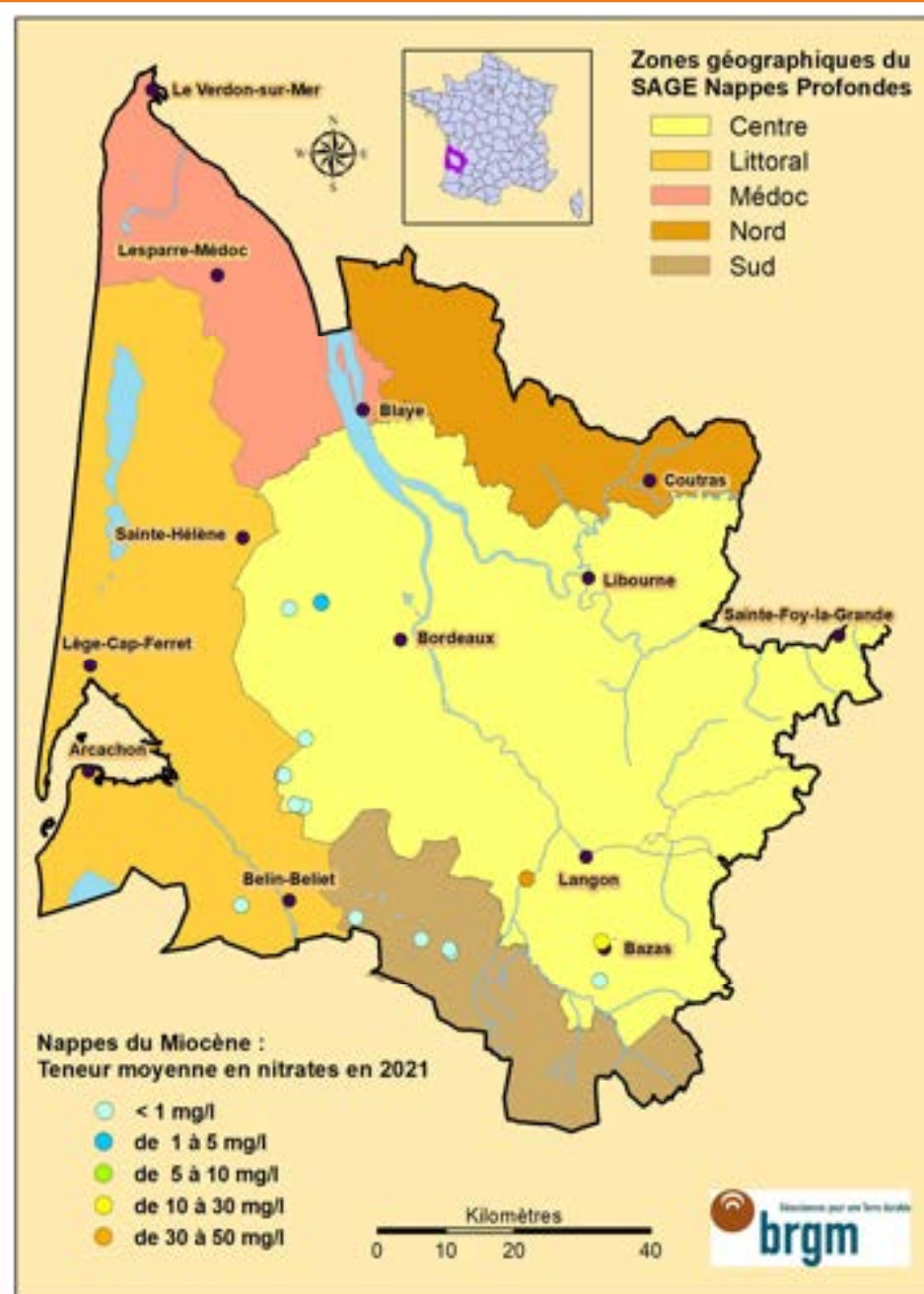
- ❖ D'autres **éléments « mineurs » naturels** (fer, fluor, manganèse...) peuvent être présents dans les eaux à des **teneurs indésirables** ;
- ❖ Les **activités humaines** conditionnent également la composition chimique des eaux souterraines, apport notamment : **métaux lourds, produits de la pétrochimie, pesticides, engrais...** (industrie, pratiques agricoles ou domestiques).
- ❖ **Fréquence : 1 à 4 analyses/an**
 - 1 pour nappes captives ; 2 pour nappes libres
 - 4 pour points implantés dans les masses d'eau à risques



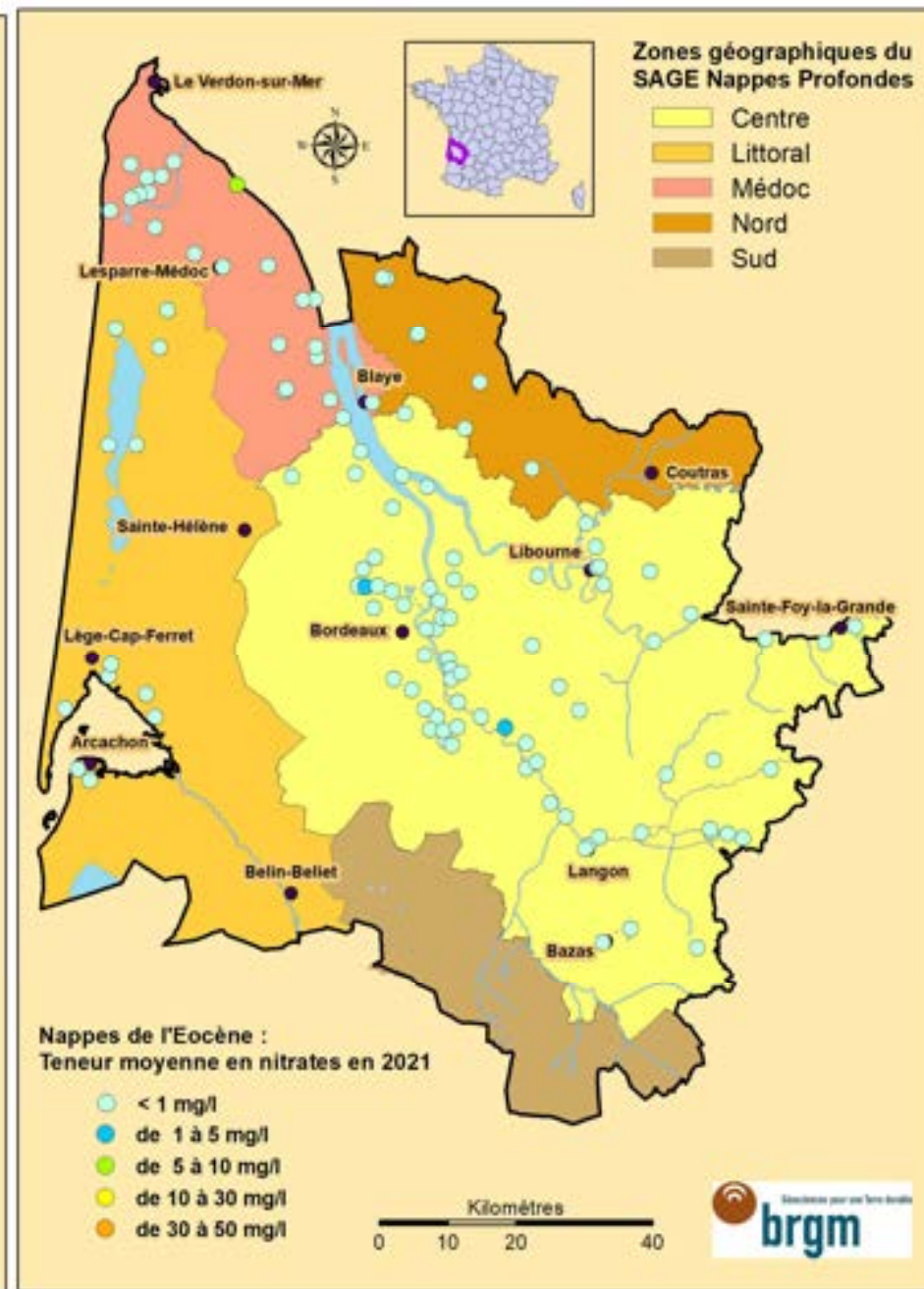
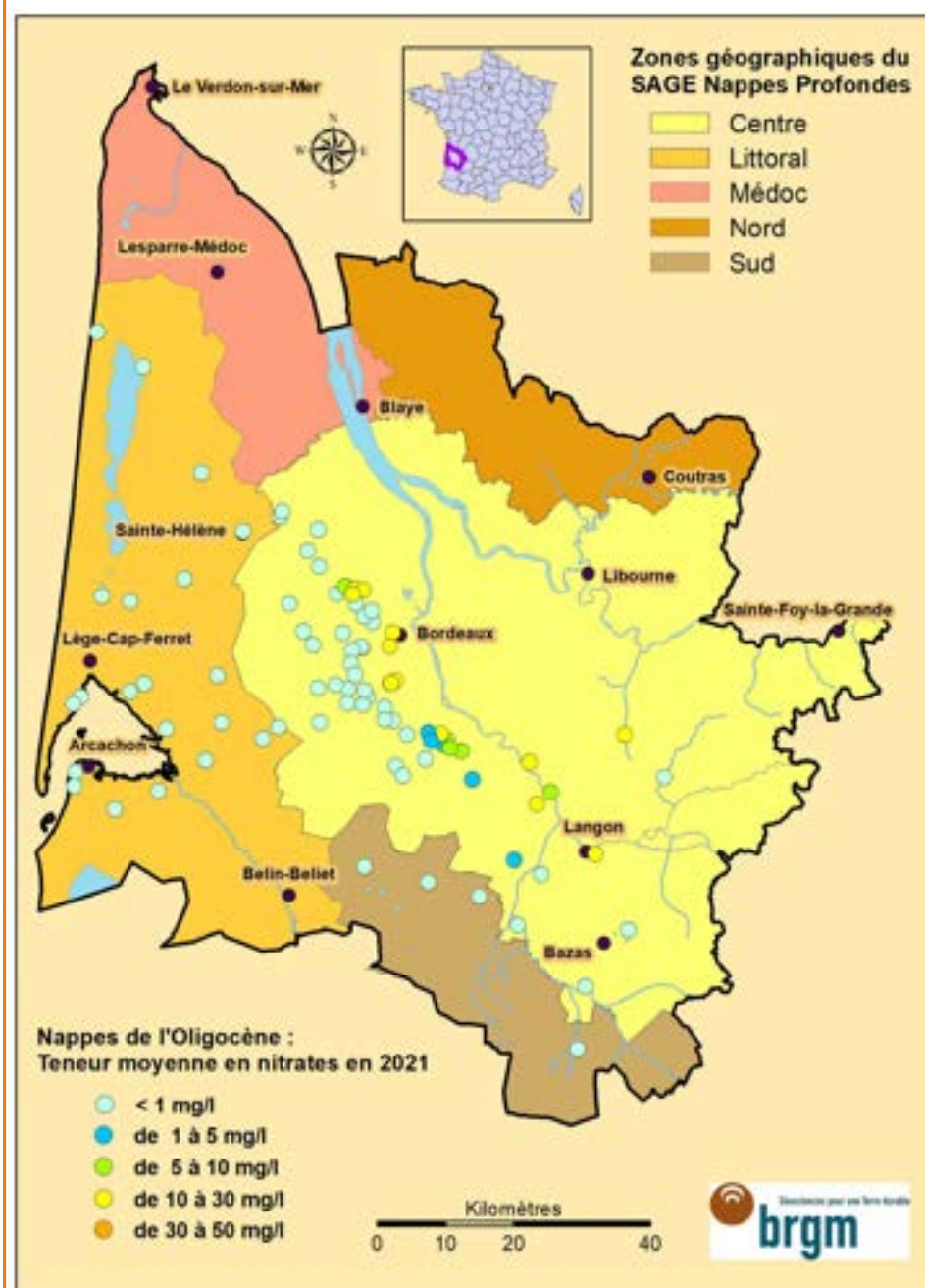
En Gironde, les principaux dépassements des valeurs références de bon état de la qualité des eaux souterraines concernent :

Paramètre en dépassement	Aquifères concernés
Turbidité	Tous
Conductivité électrique	Base du Crétacé supérieur et Eocène
Sodium et Chlorures	Base du Crétacé supérieur et Eocène
Sulfates	Eocène et Oligocène
Fluorures	Base et sommet du Crétacé supérieur et Eocène
Fer et manganèse	Tous
Aluminium	Oligocène, Plio-Quaternaire
Arsenic	Oligocène et Eocène
Sélénium	Oligocène
Acétamides (alachlore, métolachlore) et métabolites	Oligocène, Miocène, alluvions de la Garonne
Triazines et métabolites (atrazine, déséthylatrazine...)	Oligocène, alluvions de la Dordogne
AMPA	Oligocène
Hexazinone, Norflurazone et Pentachlorophénol	Oligocène
Nitrates	Aucun

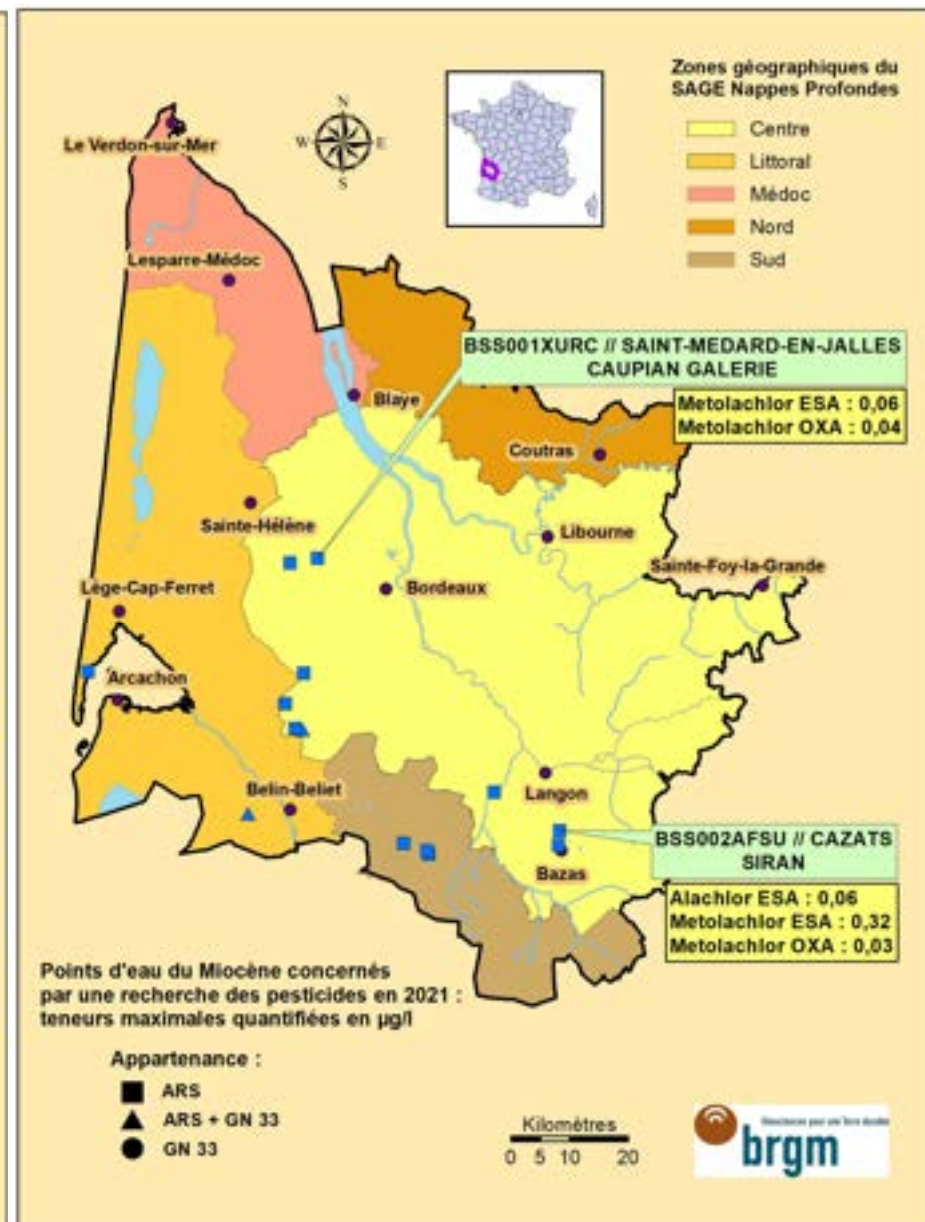
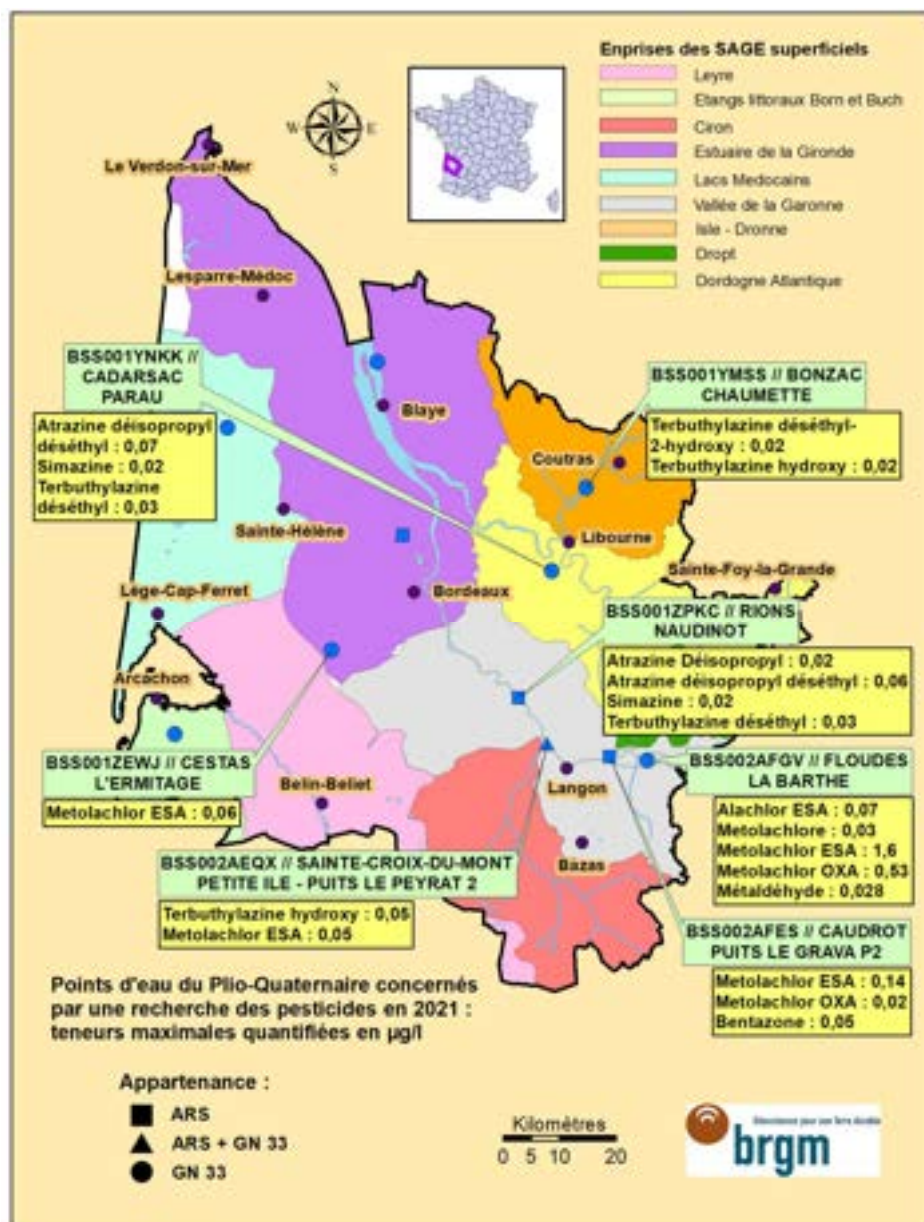
Les nitrates dans les eaux souterraines



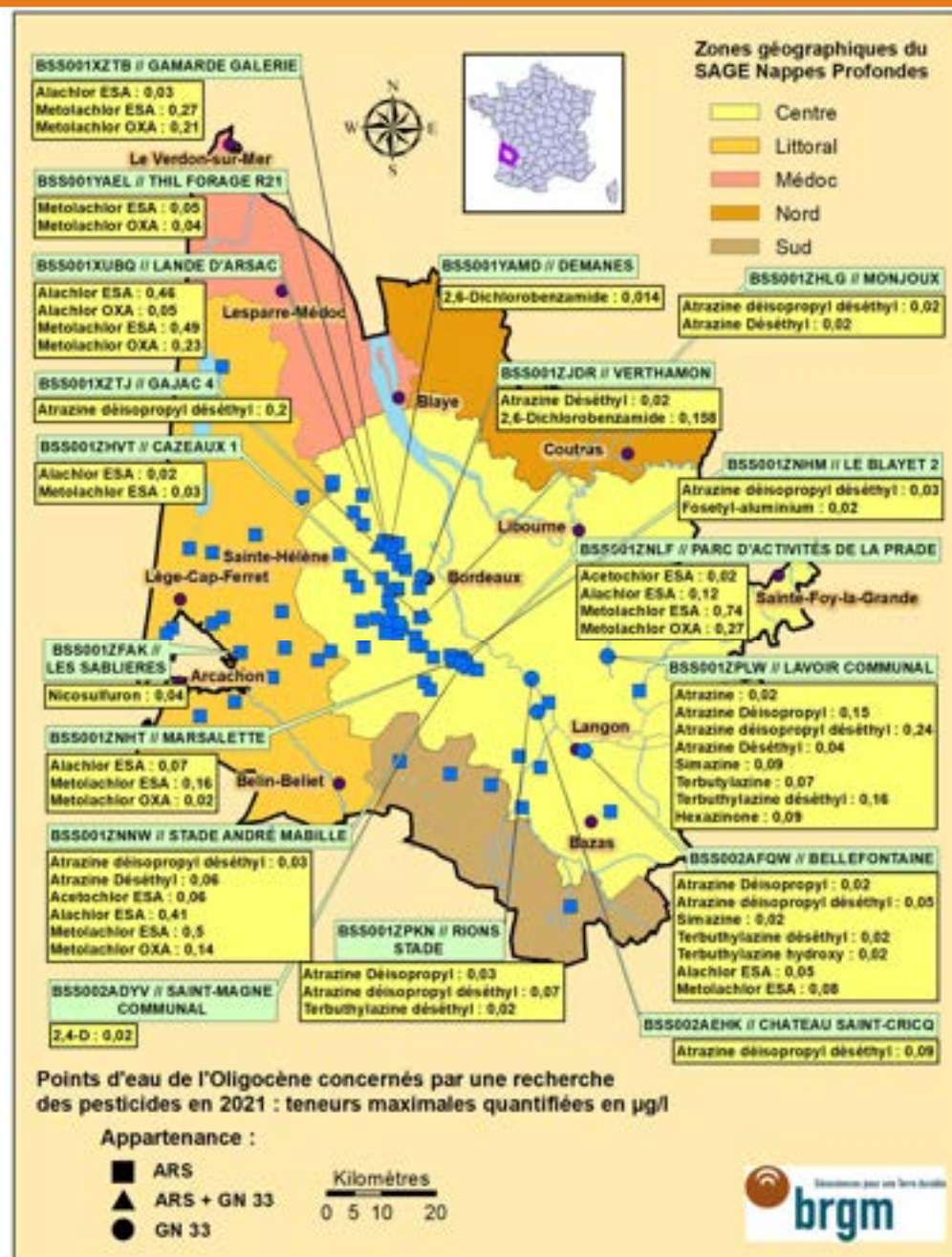
Les nitrates dans les eaux souterraines



Les pesticides dans les eaux souterraines



Les pesticides dans les eaux souterraines



Disponibilité des informations

Siges Aquitaine :

<http://sigesaqi.brgm.fr/>

The screenshot shows the homepage of the SIGES Aquitaine website. At the top, there's a navigation bar with links: Accueil, La région, Géologie, Hydrogéologie, Surveillance des nappes, Gestion de l'Eau, Usages, and Législation. Below this is a search bar and a main banner featuring a waterfall image and a text box titled 'Quelle nappe y a-t-il sous nos pieds ?' with a small map of France. The left sidebar contains 'Actualités' with three news items dated July 2018, May 2018, and April 2018. The right sidebar is titled 'À propos du SIGES Aquitaine' and includes a 'Navigation par public' section with icons for Grand Public, Scientifique, and Expert, and a 'Les partenaires' section with logos for the Agence de l'Eau Adour Garonne, the European Union, the Nouvelle-Aquitaine region, the Gironde department, and the BRGM.

L'hydrogéologie en Aquitaine

Le contexte hydrogéologique aquitain

L'eau souterraine en Gironde

Des ressources en eaux souterraines

Les mystères d'une ressource invisible

Eau potable en Gironde : quelle origine pour les sulfates et le fluor ?

Impact du changement climatique sur les ressources en eau souterraine

L'Atlas des itinéraires hydrogéologiques en Aquitaine

Gironde - Suivi de la qualité

Principes du suivi qualité en Gironde

Comment accéder aux données « qualité » ?

Qualitomètres des réseaux de suivi RCS et RCD



Les principaux aquifères

Le Plio-Quaternaire

L'Oligocène

L'Eocène

Le Turonien (Crétacé supérieur)

Gironde 33 - Suivi quantitatif des nappes

Comment accéder aux données piézométriques de Gironde ?

Données des points de suivi piézométrique (à fin 2017)

Usages

prélèvements d'eau dans le monde

prélèvements d'eau en France

prélèvements d'eau en Aquitaine

Disponibilité des informations

ADES : Accès aux Données sur les Eaux Souterraines

<http://www.ades.eaufrance.fr/>



Réseau
0500000004
Réseau départemental de
suivi quantitatif des eaux
souterraines de la Gironde
(33)

 Imprimer la fiche

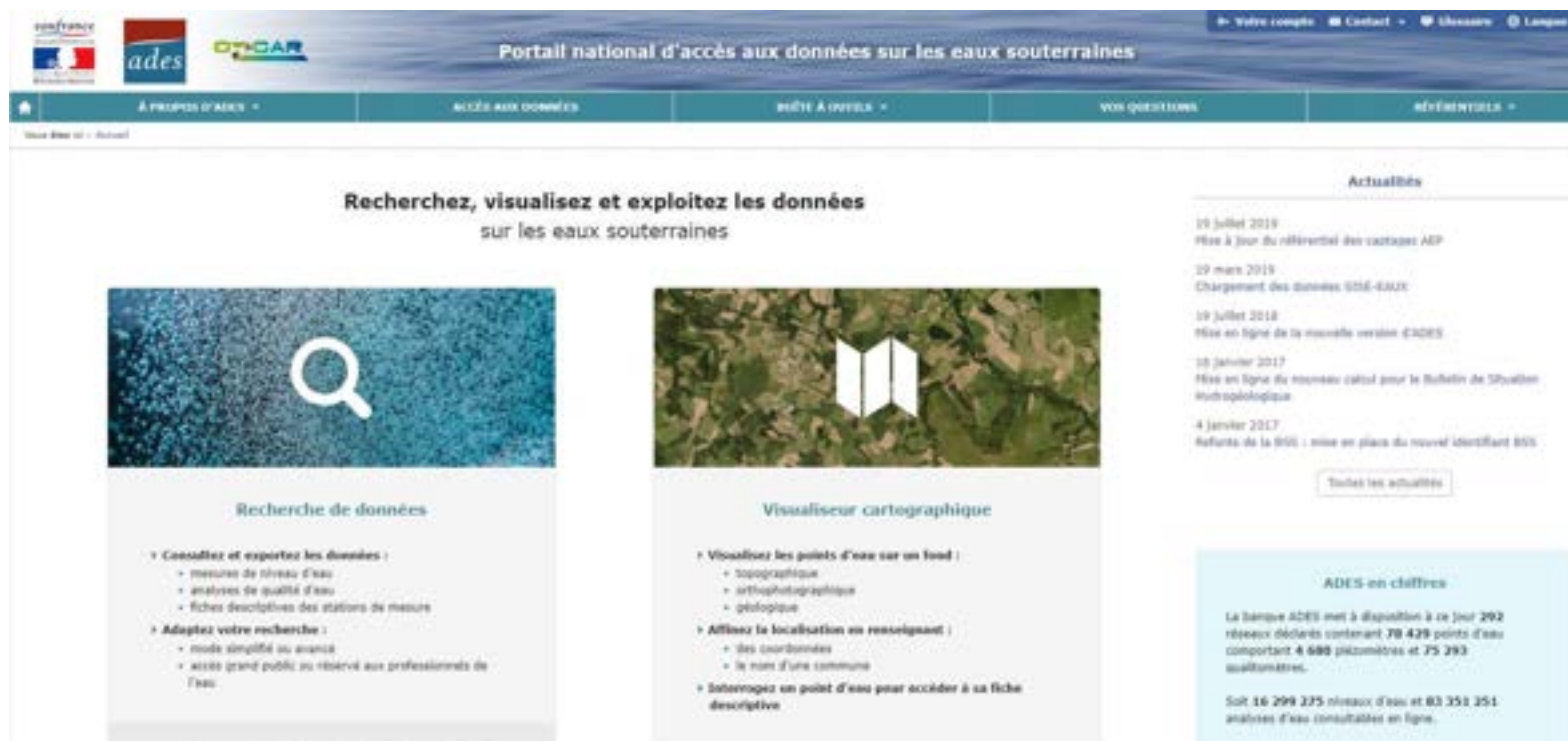
Mnémonique
RDESOU33



Réseau
0500000183
Réseau départemental de
suivi qualitatif des eaux
souterraines de la Gironde
(33)

 Imprimer la fiche

Mnémonique
RDESOUQ33



Portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines

Recherchez, visualisez et exploitez les données sur les eaux souterraines

Recherche de données

- Consulter et exporter les données :
 - mesures de niveau d'eau
 - analyses de qualité d'eau
 - fiches descriptives des stations de mesure
- Adaptez votre recherche :
 - mode simplifié ou avancé
 - accès grand public ou réservé aux professionnels de l'eau

Visualiseur cartographique

- Visualisez les points d'eau sur un fond :
 - topographique
 - orthophotographique
 - géologique
- Affinez la localisation en renseignant :
 - des coordonnées
 - le nom d'une commune
- Interrogez un point d'eau pour accéder à sa fiche descriptive

Actualités

- 19 juillet 2019 : Mise à jour du référentiel des captages AEP
- 29 mars 2019 : Chargement des données SSI-EAUX
- 19 juillet 2018 : Mise en ligne de la nouvelle version d'ADES
- 18 janvier 2017 : Mise en ligne du nouveau calcul pour le Bulletin de Situation Hydrogéologique
- 4 janvier 2017 : Refonte de la BSE : mise en place du nouvel identifiant BSE

Toutes les actualités

ADES en chiffres

La banque ADES met à disposition à ce jour 292 réseaux déclarés contenant 78 429 points d'eau comportant 4 680 piézomètres et 75 293 qualimètres.

Soit 16 299 275 niveaux d'eau et 83 351 251 analyses d'eau consultables en ligne.

Disponibilité des informations

Le rapport 2021 sur les données
2020 est disponible en ligne
(RP-71550-FR).

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-71550-FR.pdf>

gironde.fr :

<https://www.gironde.fr/environnement/preservation-de-leau-en-gironde#eau-souterraine>



Document à accès immédiat

Réseau départemental de suivi des nappes de Gironde - Synthèse de l'état des nappes en 2020

Rapport final

BRGM/RP-71550-FR

Version du 11 juillet 2022

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM

Castillo C., Abou Akar A., Douez O.

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : Chrystelle Auterives	Nom : Nicolas Pédrón
Fonction : Hydrogéologue expert	Fonction : Directeur Régional du BRGM Nouvelle-Aquitaine
Date : 11/07/2022	Date : 26/07/2022
Signature :	Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr

Ce rapport a été réalisé en partenariat avec :





**Merci de
votre
attention**

JOURNÉE EAUX SOUTERRAINES

La modélisation en hydrogéologie

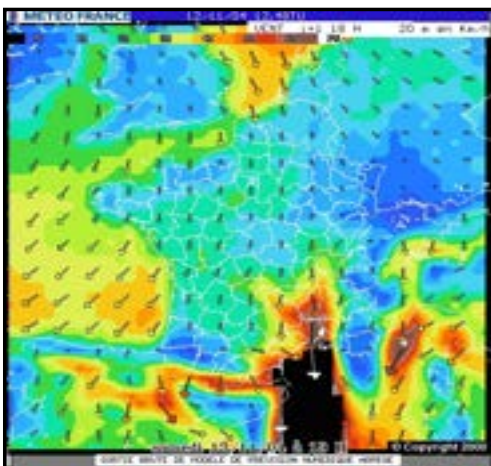
Olivier Douez
20/10/2022

Qu'est-ce qu'un modèle en hydrogéologie ?

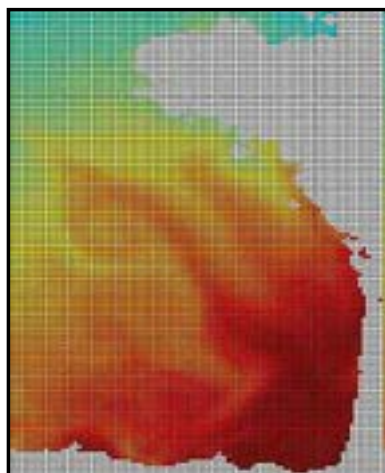
Objectif : représentation schématique, simplifiée et relativement abstraite d'un objet (ou d'un processus) qui permet de substituer un système plus simple au système naturel en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir (S.Guinand, in Encyclopédie Universalis + Dictionnaire de l'environnement)

Quelques exemples de modèles...

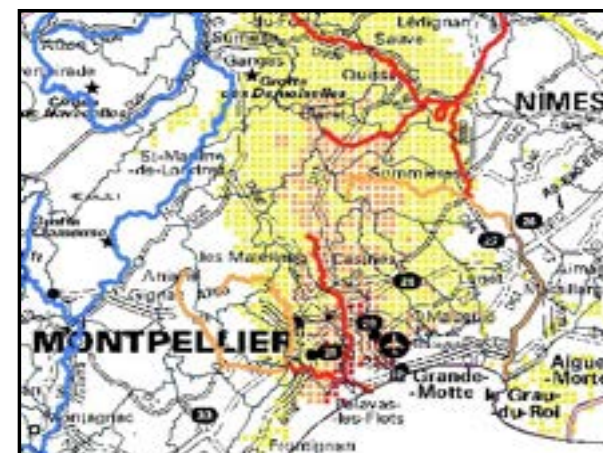
Circulations atmosphériques
(Météo-France,...)



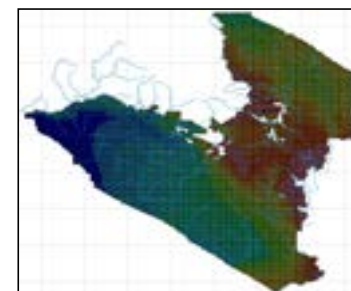
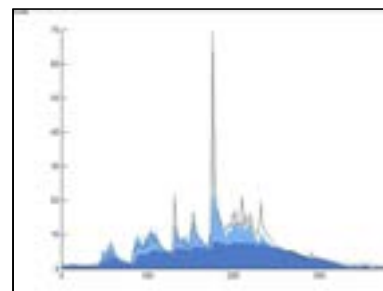
Circulations océaniques
(Ifremer,...)



Prévision des crues (INRAE,...)



... et les **modèles hydrogéologiques numériques**



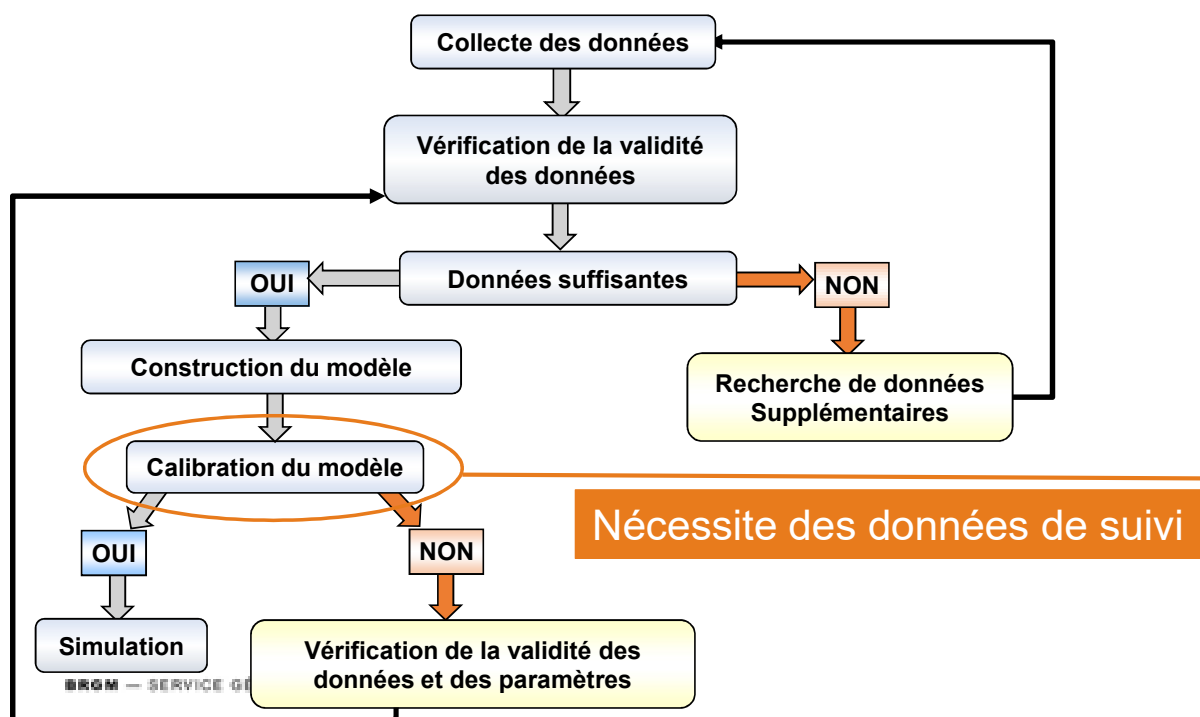
Qu'est-ce qu'un modèle en hydrogéologie ?

→ **Les modèles hydrogéologiques** permettent par exemple de simuler les écoulements souterrains, les niveaux de nappes, les débits des cours d'eau, les flux de polluants dans les eaux, le transfert de chaleur, etc....

→ Les grandes étapes du développement d'un outil de modélisation :

1 - **Définition du cadre de la modélisation** : une modélisation pour quoi faire ? Les objectifs conditionnent le type de modèle à mettre en œuvre : extension, nature des phénomènes à simuler, pas d'espace et de temps, etc.

2 - **Elaboration du modèle** : ↓



CALIBRATION /
UTILISATION

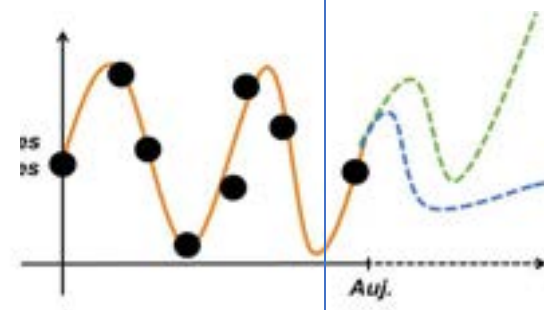


Calibration

Simulation

Ex. :

- Niveau de nappes
- Débits
- Concentration
- Etc.



Différents types de modèles numériques

Modèles globaux

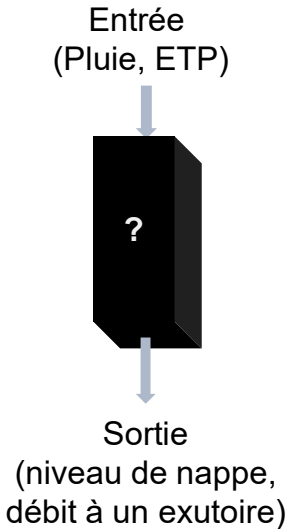
(Modèles "pluies-débits" ou "pluies-niveaux")

Echelle d'un bassin versant

Type « Boîte noire »

Une "sortie" du système est reliée à une ou plusieurs entrées par des fonctions de transferts (ou réponses impulsionnelles).

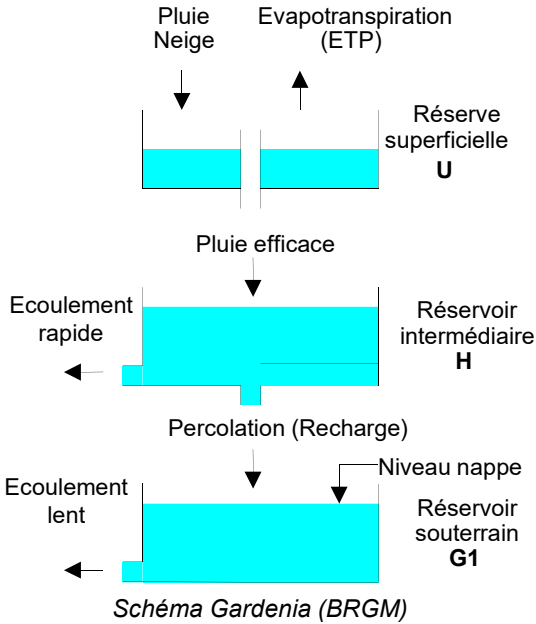
Pas de lois « physiques »



* Autres modèles de type boîte noire : Réseaux de neurones artificiels (RNA)

Type « Conceptuel »

Pas (ou peu) de découpage de l'espace en plan horizontal. Tout en ayant un sens physique (des réservoirs et, pour certains, des lois de remplissage et de vidange) ils ne prennent cependant pas **en compte les équations physiques réelles.**



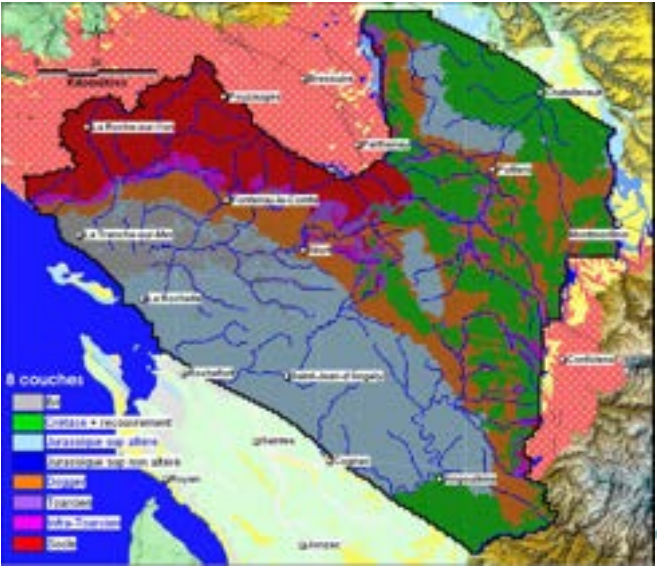
Modèles à base physique (mécaniste)

Modèles spatialisés

Résolution de l'équation générale des écoulements souterrains.

Tentent de représenter le système physique dans sa réalité.

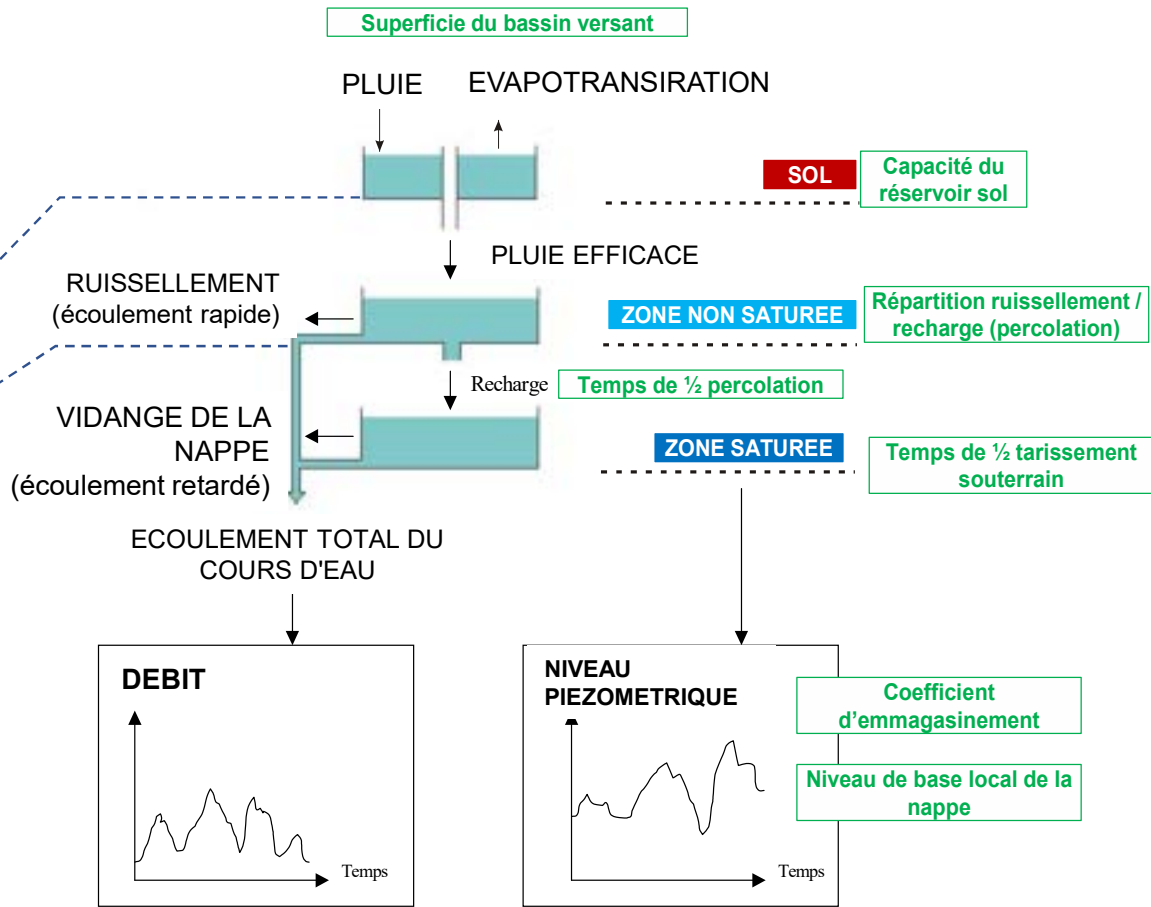
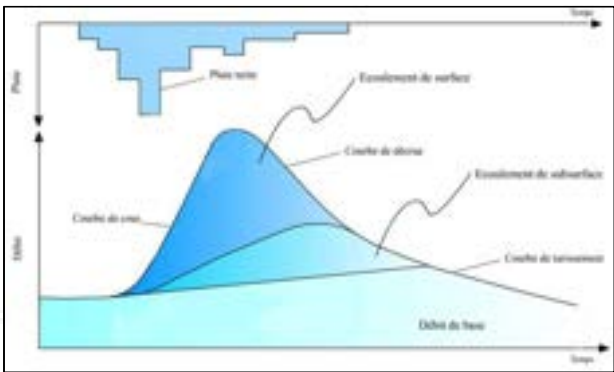
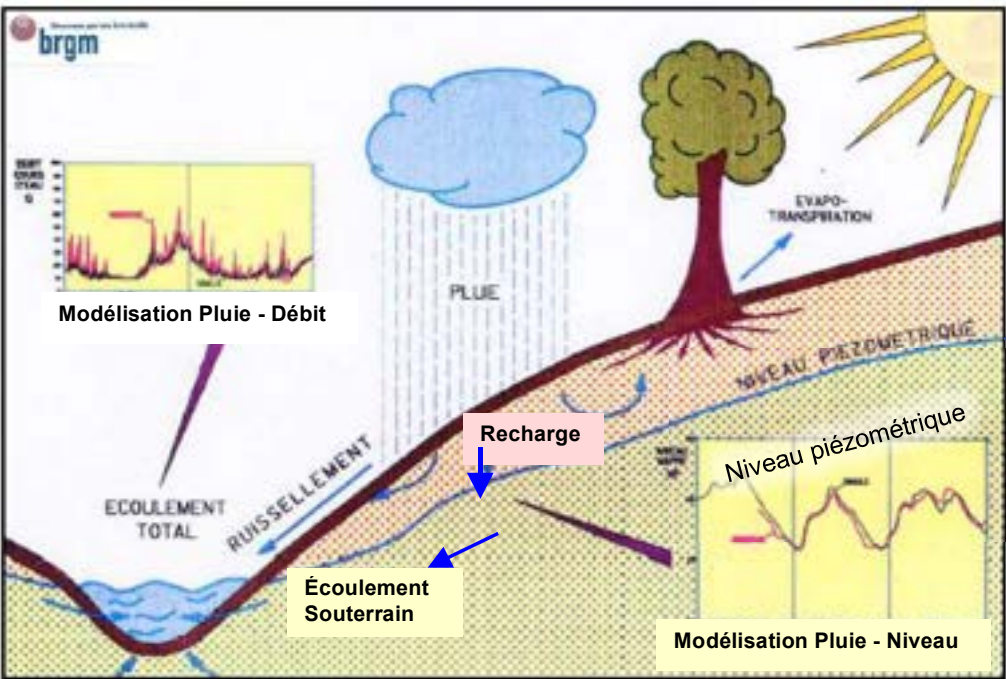
→ modèles spatialisés ou modèles maillés



Le modèle Jurassique (BRGM)

Modèles globaux : type conceptuel

Exemple : schéma modèle GARDENIA

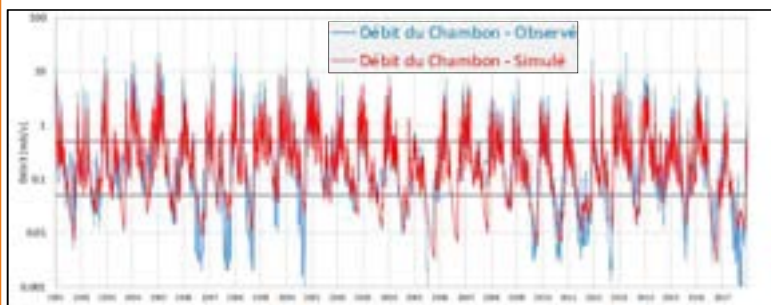


+ 3 paramètres liés aux pompes (impacts sur nappe et/ou rivière) :
coefficient d'influence, temps de ½ montée et temps de ½ stabilisation

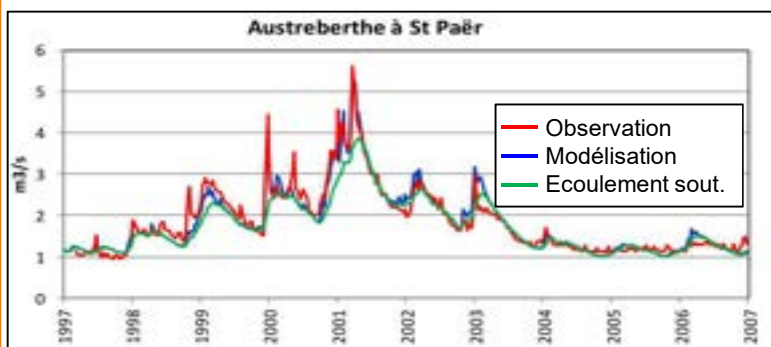
Modélisations globales

L'approche par modélisation globale permet

- d'analyser la cohérence entre observations climatiques et observations de débits ou de niveaux piézométriques
- d'analyser les différents termes du cycle hydrologique (infiltration, évapotranspiration, écoulements)
- de reconstituer des chroniques sur une période pendant laquelle on ne possède pas de mesures
- de reconstituer des chroniques non influencées (en retirant l'impact de prélèvements)
- de générer de longues séries de débits ou de niveaux piézométriques, après calibration préalable sur une période historique :
 - ➔ possibilité de prévision à 6 mois en fonction de scénarios de conditions climatiques :
 - ➔ calcul de chroniques à long terme (échéance 2100) en utilisant les chroniques climatiques élaborées dans le cadre des travaux du GIEC

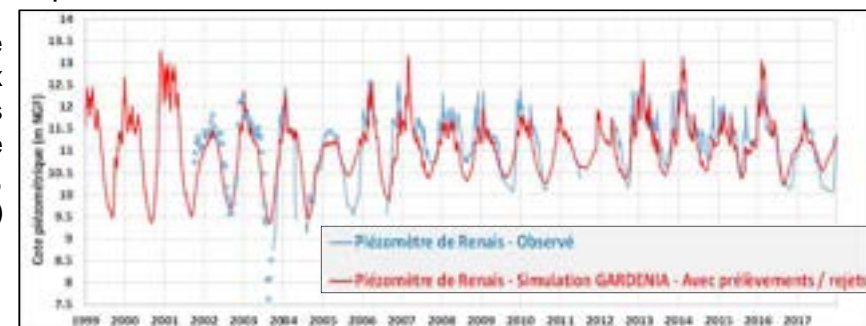


Chroniques de débits observée/simulée (Compère et al., 2021)



Décomposition du débit en 2 composantes (rapide et lente – écoulement souterrain) (Thiery et al., 2016)

Chroniques de niveaux piézométriques observée/simulée (Compère et al., 2021)



Chroniques de débits observée (partielle)/simulée (Compère et al., 2021)



Modélisations globales : exemple d'étude sur le bassin de la Sèvre Niortaise

Contexte / Objectif / Enjeux

Dans le cadre de la révision du SAGE Sèvre Niortaise Marais Poitevin → étude HMUC (Hydrologie, Milieux, Usages, Climat) préconisée par le SDAGE Loire Bretagne menée par l'Institution Interdépartementale du Bassin de la Sèvre Niortaise (IIBSN).

Le volet « Hydrologie », réalisé par le BRGM, avait pour objectifs de :

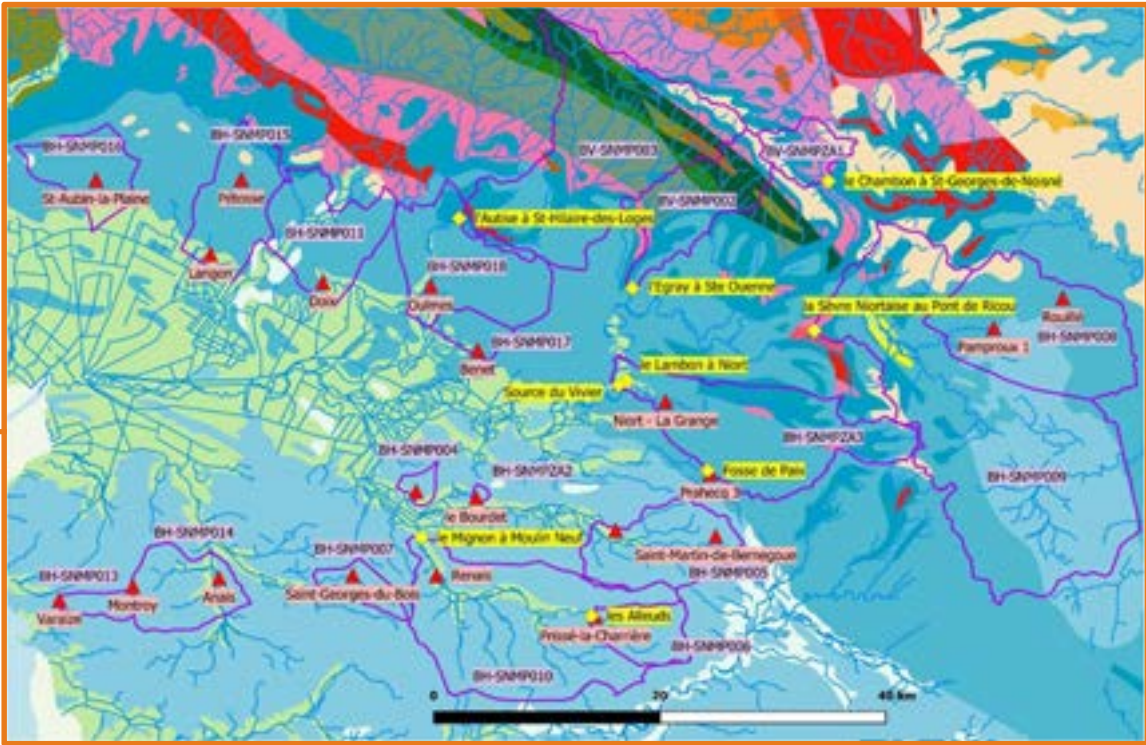
- Reconstituer les régimes hydrologiques « naturels » (non influencés par les actions anthropiques) à différentes stations de mesure
- Evaluer l'impact du changement climatique sur quelques bassins versants à fort enjeu d'alimentation en eau potable, représentatifs des situations rencontrées sur le territoire du SAGE
- Utilisation de l'outil GARDENIA (BRGM)

Localisation sur fond de carte géologique simplifiée des bassins et points de suivis (20 piézomètres et 9 stations de débit) ayant fait l'objet de modélisation (Compère et al., 2021)

Partenariat : BRGM/ Institution Interdépartementale du Bassin de la Sèvre Niortaise (IIBSN)/ Etablissement Public du Marais Poitevin (EPMP)/Agence de l'Eau Loire-Bretagne

<https://www.sevre-niortaise.fr/hc-snmp.html>

BRGM — SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL — [WWW.BRGM.FR](http://www.brgm.fr)



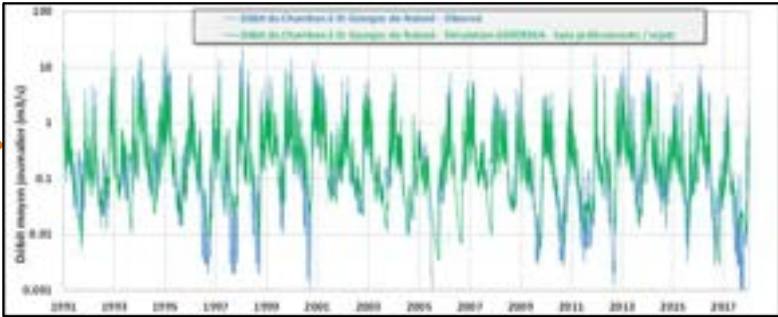
Modélisations globales : exemple d'étude sur le bassin de la Sèvre Niortaise

Mise en œuvre des modélisations : reconstitution de régimes hydrologiques « naturels (Compère et *al.*, 2021)

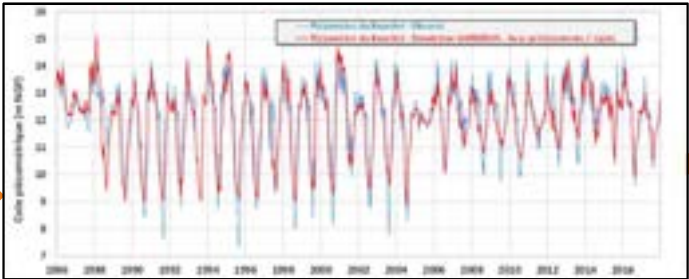
- Préparation de chroniques au pas de temps journalier
- Précipitations
- ETP
- Suivi piézométrique et/ou mesures de débit
- Prélèvements et/ou rejets

Bassin en l'état peu/pas influencé

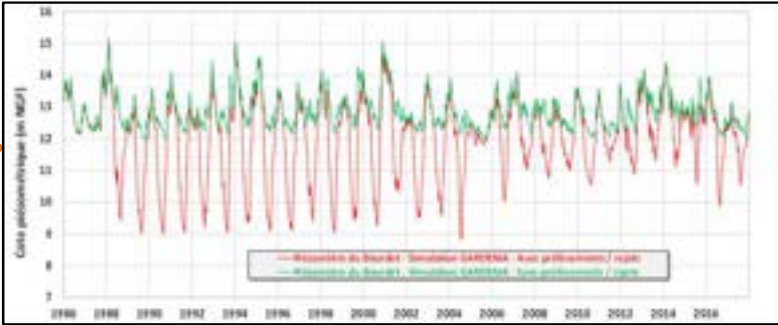
Modélisation directe d'une chronique non influencée



Bassin influencé



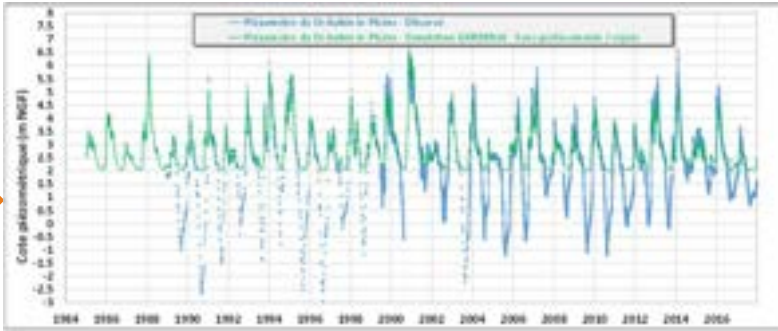
Retrait des prélèvements / rejets



Modélisation des chroniques historiques en régime influencé

Bassin influencé avec difficultés de calage liées à la prise en compte de l'effet des prélèvements/rejets ou à un comportement complexe

Modélisation directe d'une chronique non influencée calée sur les hautes eaux

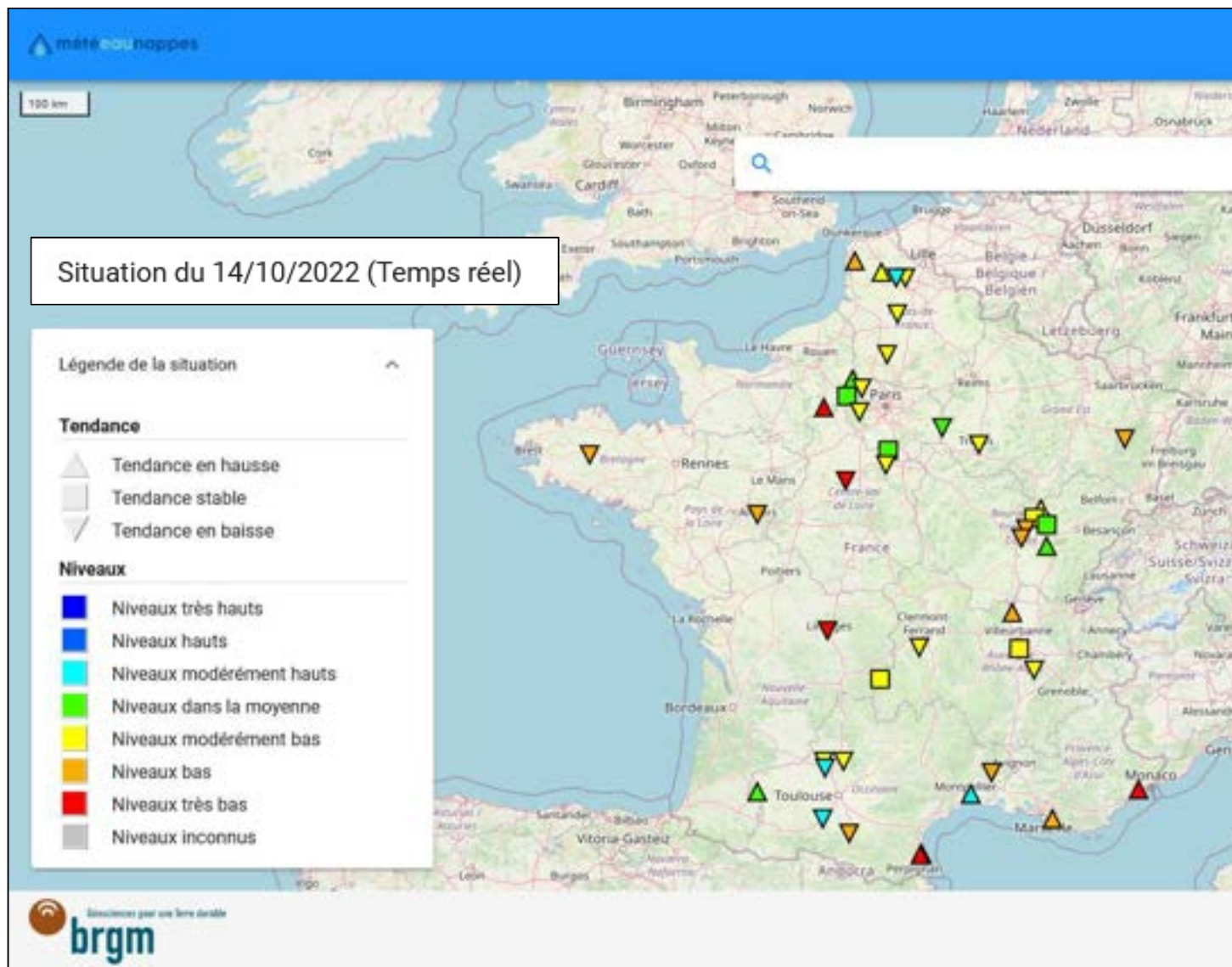


Modélisations globales et MétéEAU Nappes

La plateforme web MétéEAU Nappes*, permet :

- La visualisation historique et en quasi-temps réel des données brutes et valorisées issues des mesures effectuées sur des réseaux piézométriques.
- + Données météorologiques (précipitations) et hydrologiques (débits de cours d'eau).
- + Indicateur Piézométrique Standardisé (IPS), périodes de retour du niveau moyen mensuel (du plus sec au plus humide), sous forme cartographique.
- + Un modèle global associé au point d'eau permet, à partir des données météorologiques, hydrologiques et piézométriques d'entrée (potentiellement associées à des données de prélèvement), la prévision des niveaux de nappes.

* <https://meteeanappes.brgm.fr>



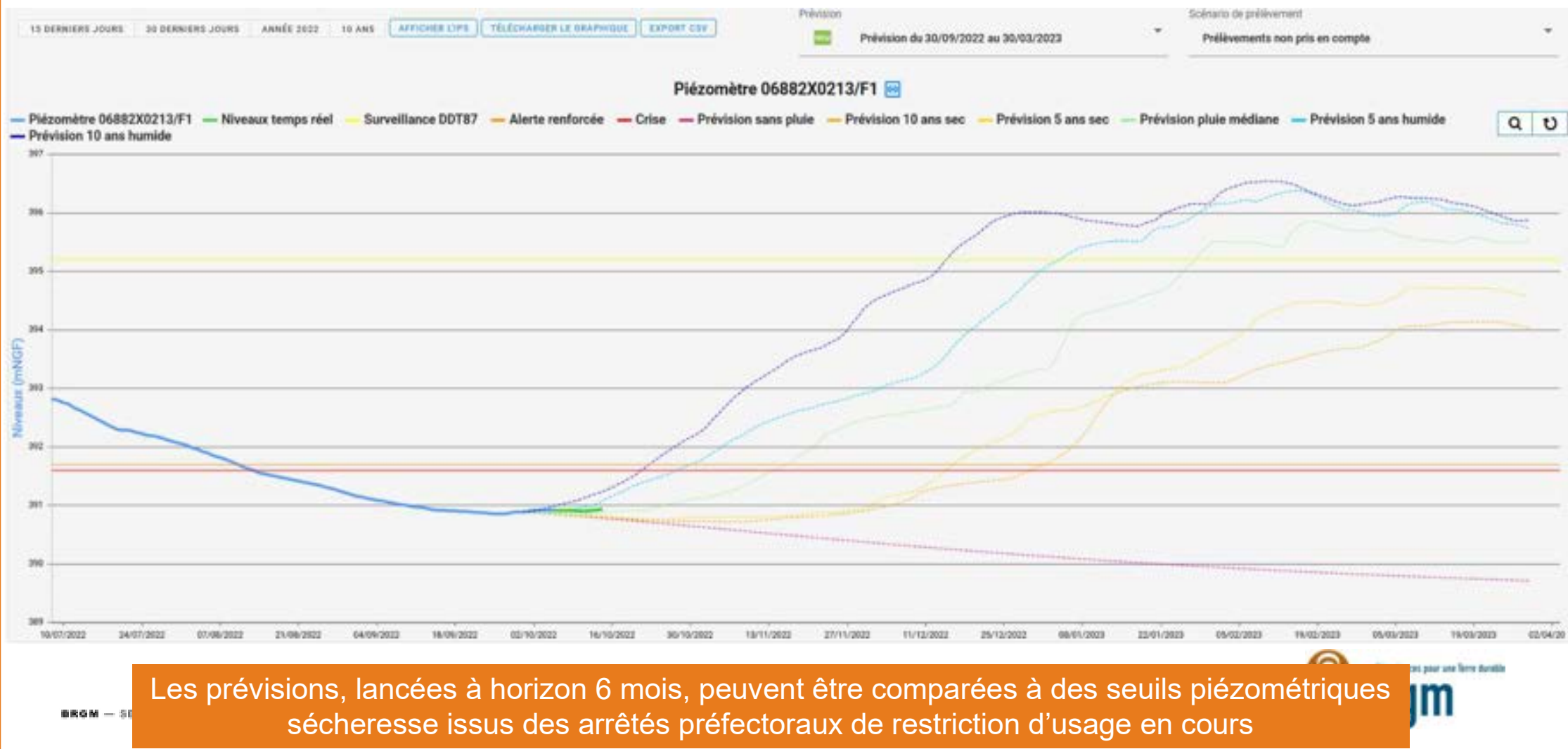
Modélisations globales et MétéEAU Nappes

Visualisation des données historiques



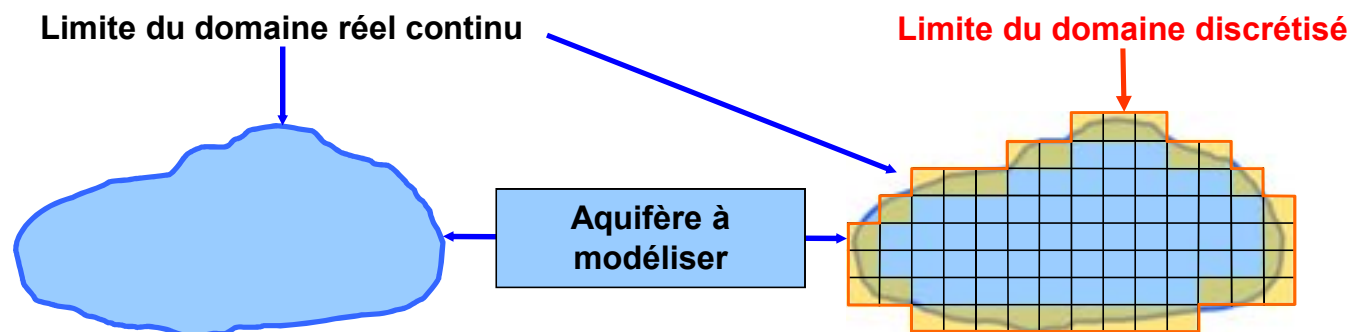
Modélisations globales et MétéEAU Nappes

Graphique des niveaux, des seuils piézométriques et des prévisions

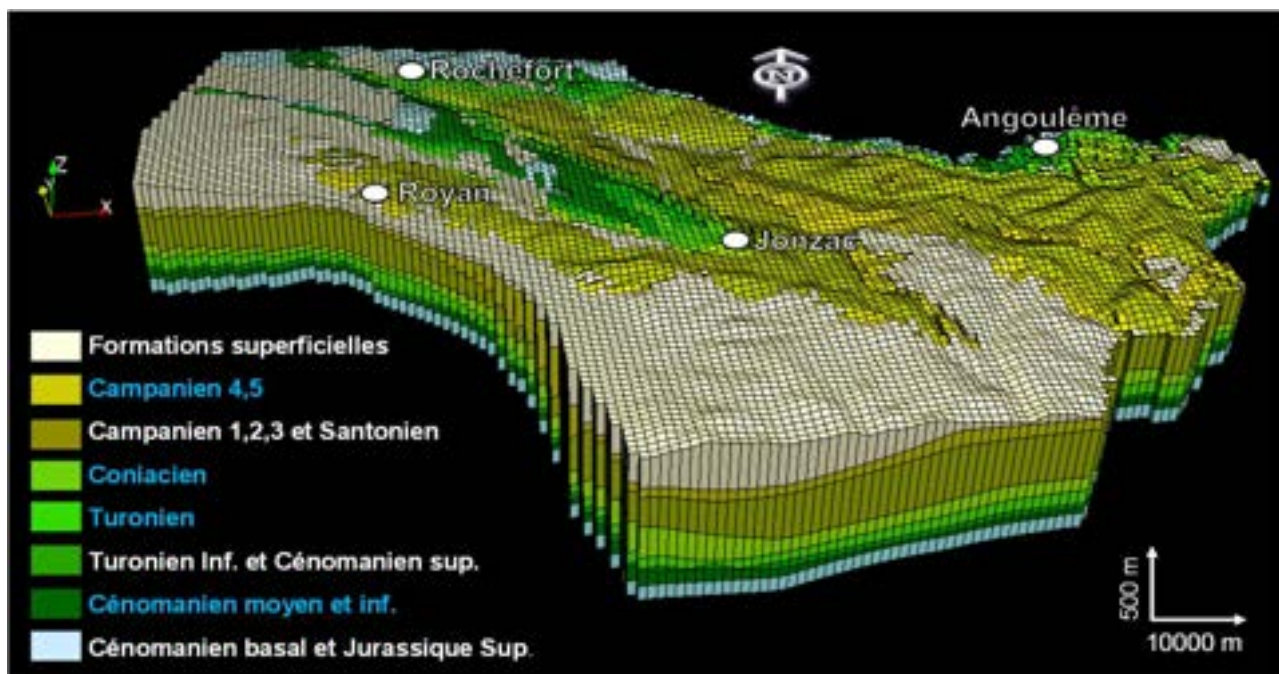


Modèles spatialisés

Le principe : la discrétisation spatiale - subdivision de l'espace en sous-domaines



- Chaque maille est caractérisée par des paramètres : cote des toits et murs, perméabilité, coefficient d'emmagasinement...
- A partir des paramètres, un niveau d'eau est calculé dans chaque maille
- Ce calcul se fait en considérant que chaque maille échange de l'eau avec ses 6 voisines et avec « l'extérieur » (pompage, injection, recharge pluviale)



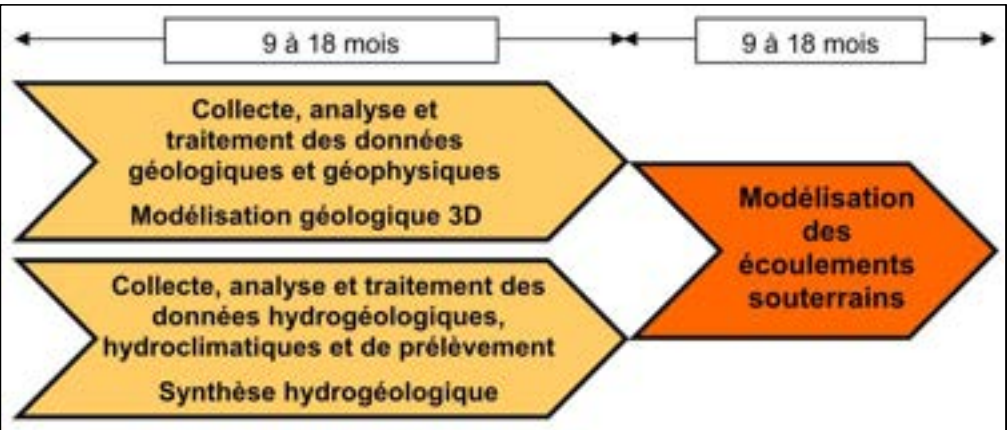
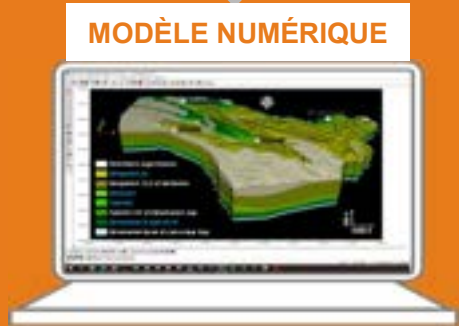
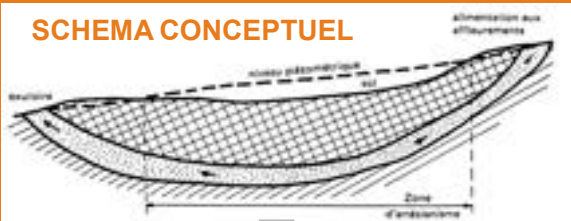
+ discrétisation temporelle : pas de temps → mensuel, journalier etc...

Modélisation hydrogéologique spatialisée – quelques concepts

Les étapes de la modélisation spatialisée

Une fois le cadre de la modélisation défini :

- 1 - **Collecte, analyse et synthèse des données** : hydrogéologiques, géologiques, météorologiques, etc.
- 2 - **Construction d'un modèle conceptuel**
- 3 – **(Construction optionnelle d'un modèle géologique 3D**, fonction de la complexité, de l'étendue de la zone à modéliser)
- 4 - **Construction du modèle d'écoulement** : création du maillage et renseignement de chaque maille par les données (géométrie du système aquifère, propriétés hydrogéologiques, conditions aux limites, entrées/sorties hydrauliques,...)
- 5 - **Calage du modèle (ou calibration)** recherche des « meilleures » valeurs de paramètres permettant d'obtenir une bonne adéquation entre observations et valeurs calculées par le modèle : niveaux piézométriques, débits des cours d'eau etc.
- 6 - **Validation du modèle**
- 7 - **Exploitation du modèle calé**



Chronogramme indicatif des grandes étapes d'une modélisation hydrogéologique régionale (Barthélemy et Seguin, 2016)

Modèles spatialisés

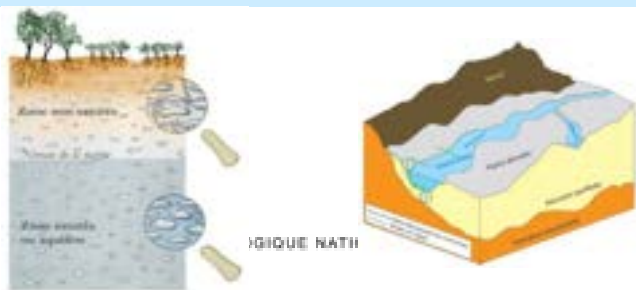
Les données (modèle hydrodynamique simple)

Géologie

- Surface topographique : Modèle Numérique de Terrain
- Limites/Substratum des formations :
- Cartes géologiques
- Coupes de forage
- Linéaments structuraux
- Harmonisation cartes et coupes
- Coupes sismiques et électriques
- Pendages (affleurements, forages)
- Avis d'experts

Propriétés hydrogéologiques

- Perméabilité, anisotropie
- Emmagasinement libre/captif
- Conditions aux limites
- Observations piézométriques : mesures synchrones / chroniques



Prélèvements en nappes et en cours d'eau

- Chroniques de pompage
- Règles de distribution temporelle
- Aquifères prélevés



Recharge de nappe

- Chroniques pluviométriques
- Zones de Pluie (AURELHY, SAFRAN)
- Zones d'évapotranspiration (ETP)
- Capacité de stockage du sol
- Ruissellement vs. infiltration
- Déphasage induit par la ZNS



Modèle hydrogéologique des fleuves côtiers du Calvados © BRGM

Réseau hydrographique

- Arborescence du réseau
- Longueur des tronçons
- Largeur des tronçons
- Pompages en rivière
- Épaisseur de colmatage
- Perméabilité de colmatage
- Observations hydrométriques : chroniques de débits/hauteur des cours d'eau

- ✓ Travail important de collecte, traitement, analyse, interprétation et synthèse de multiples données
- ✓ La synthèse du fonctionnement hydrogéologique qui en résulte débouche sur le modèle conceptuel d'écoulement.
- ✓ Peut s'ajouter, en particulier si le contexte géologique est complexe, la construction d'un « Modèle géologique 3D »

Modélisation hydrogéologique spatialisée – quelques concepts

Un modèle hydrogéologique spatialisé

Un outil de compréhension du fonctionnement d'un système aquifère qui permet :

- D'organiser, comparer, confronter et exploiter numériquement les données collectées sur un site d'étude, dans le but de comprendre
- D'identifier les secteurs en déficit d'informations
- De restituer des niveaux de nappes, des circulations des eaux (+ possibilité d'intégration des principaux cours d'eau : prise en compte des échanges nappes rivières)
- D'estimer des volumes d'eau transitant par les nappes (ou par les cours d'eau) : stockage/déstockage des nappes, bilan hydrogéologique par bassin versant, volume échangé entre les nappes et les cours d'eau, débits des cours d'eau

Un outil de gestion, d'aide à la décision et de prédiction des ressources et/ou de la qualité des eaux qui permet :

- De gérer de façon globale les ressources en eau en tenant compte des prélèvements, des rejets
- D'aider à la détermination de volumes disponibles, en lien ou non avec les débits des cours d'eau et/ou des indicateurs piézométriques, voire d'indicateurs de débit de cours d'eau
- D'aider à valider ou non des stratégies d'exploitation
- D'estimer/de prédire l'impact de la réduction ou de l'augmentation des prélèvements, l'influence de nouveaux pompages, la mise en place d'aménagements souterrains (drains, excavation etc...)
- D'optimiser l'implantation d'ouvrages
- D'évaluer l'impact du changement global sur la ressource eau
- De prévoir la migration de pollutions (trajectoires, temps de transfert, concentrations)

La cartographie des modèles spatialisés en Nouvelle-Aquitaine

De nombreux outils de modélisations développés en Nouvelle-Aquitaine :

- Des modèles Régionaux (du nord au sud) :

- ✓ Le modèle Jurassique
- ✓ Le modèle Crétacé,
- ✓ Le MONA (MOdèle Nord-Aquitain)
- ✓ Le modèle Plio-Quaternaire
- ✓ Le modèle GAIA

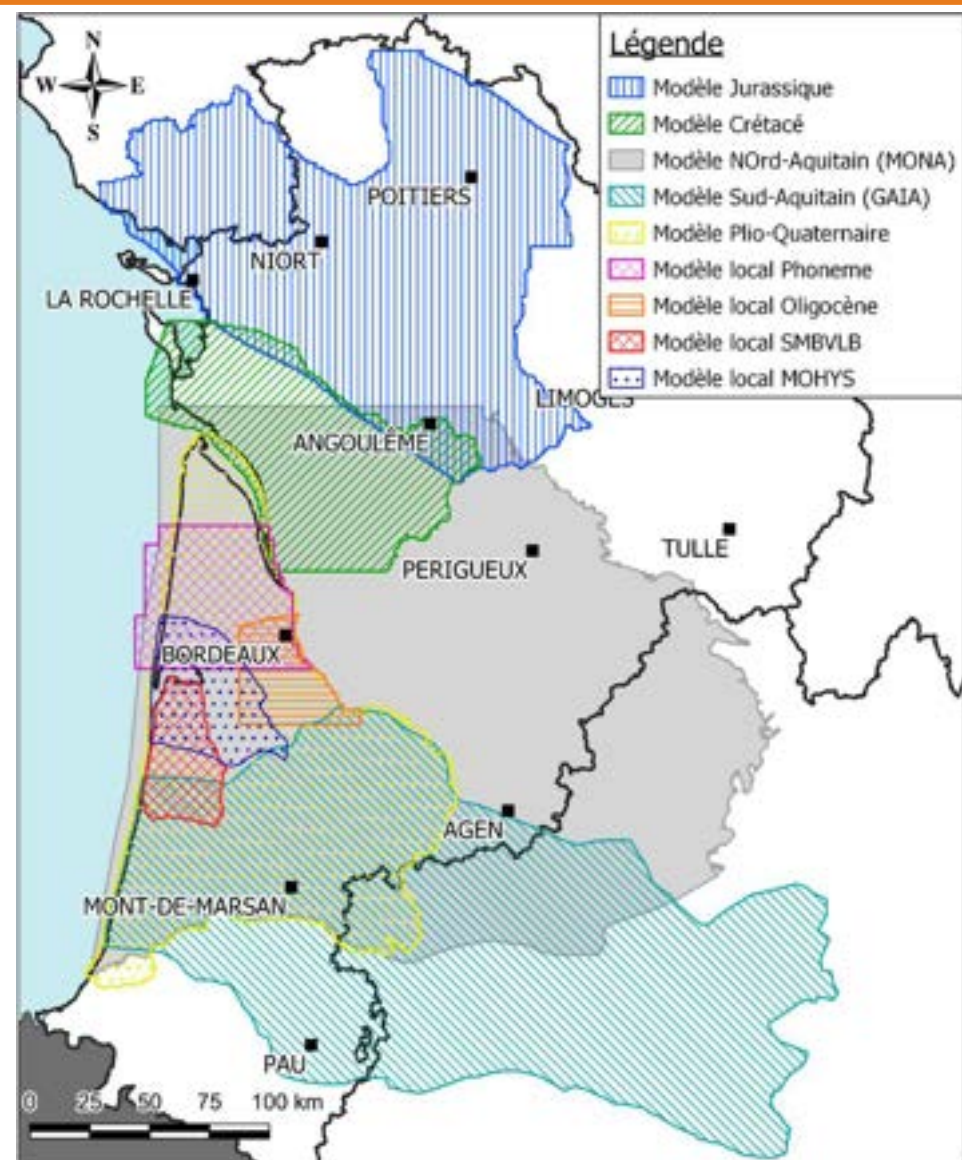


La cartographie des modèles spatialisés en Nouvelle-Aquitaine

De nombreux outils de modélisations développés en Nouvelle-Aquitaine :

- Des modèles Régionaux (du nord au sud) :
 - ✓ Le modèle Jurassique
 - ✓ Le modèle Crétacé,
 - ✓ Le MONA (MOdèle Nord-Aquitain)
 - ✓ Le modèle Plio-Quaternaire
 - ✓ Le modèle GAIA
- Des modèles locaux issus de ces modèles régionaux :
 - ✓ Le modèle Oligocène
 - ✓ Le modèle PHONEME
 - ✓ Le futur modèle MOHYS
 - ✓ Le futur modèle SMBVLB

➞ Développés en réponses à des problématiques différentes (et des contextes variés)



Le MONA - MOdèle Nord-Aquitain

Le MONA – un modèle sans cesse renouvelé et pérenne

● ... un peu d'histoire :

- ✓ Un modèle développé depuis le début des années 1990 pour répondre à la baisse des niveaux des nappes profondes de Gironde
- ✓ Différentes versions développées au fil des 3 dernières décennies
- ✓ Un modèle de gestion opérationnel (maintenu à jour) – V3.3 :
 - 46 000 Km²
 - mailles carrées de 2 km de côté
- ✓ Développement en cours d'une version V.4
 - ~ 50 000 Km²
 - mailles carrées de 500 m de côté
 - Prise en comptes des relations nappes/rivières + nouvelles modalités de recharge
 - Pas de temps mensuel
 - Base géométrique – modèle géologique GDM Multilayer

Partenariat : BRGM/Région/Etat/AEAG (Cadre : convention Régionale sur les ESO)

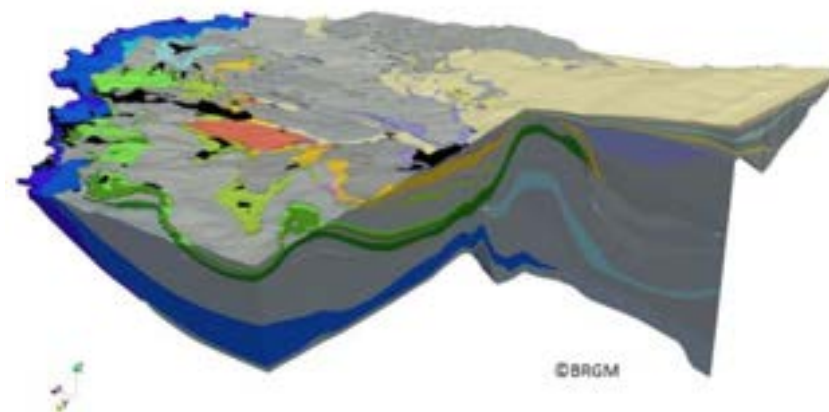
D'un modèle 5 couches à un modèle 30 couches :

MONA V1 – 5 Km – 4 Couches aquifères (1990)

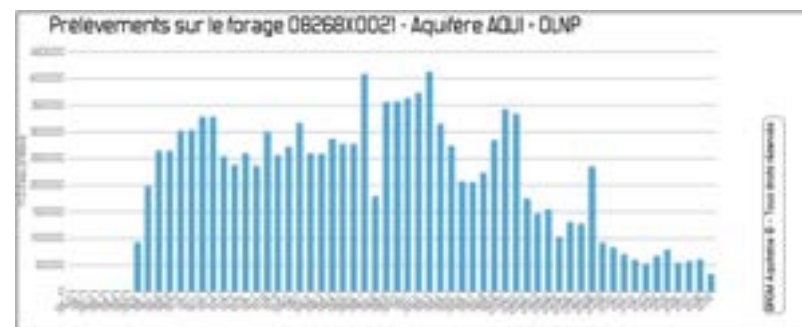
↳ MONA V2 - 5 km - 5 couches aquifères (1996)

↳ MONA V3 - 2 km de côté – 15 couches aquifères (2000)

↳ MONA V 4 – 500 m – 30 couches (aquifères +épontes)



Un modèle 3 D Géologique sous Multilayer



Une base de données de prélèvements actualisée régulièrement

Le MONA - MOdèle Nord-Aquitain

Le MONA en quelques points...

- Un outil d'aide à la décision pour la gestion des eaux souterraines :
 - ✓ Contribution à la révision du SAGE Nappes Profondes - Appui à la définition des volumes prélevables
 - ✓ Schéma directeur Eau Potable de Gironde
 - ✓ Impacts de projets structurants
 - ✓ Etudes sur le changement global
- Une plate-forme intégratrice régulièrement mise à jour :
 - ✓ Géologie (modèle 3 D), hydrogéologie, prélèvements, hydroclimatologie etc.,
 - ✓ Une mise à disposition de données sur le SIGES (<https://sigesaqi.brgm.fr/>) et des utilisations diverses (potentiel géothermique par exemple)
- Des modèles locaux issus de cette plate-forme :
 - ✓ Le modèle Oligocène
 - ✓ Le modèle PHONEME

Un modèle inscrit dans le SAGE Nappes Profondes de Gironde

DISPOSITION 4 : RÉVISION DES VMPO ET DU CLASSEMENT DES UNITÉS DE GESTION

Seule la CLE, au vu du tableau de bord du SAGE et d'un avis de son Groupe d'experts hydrogéologues reposant sur la simulation de scénarios adaptés dans le modèle mathématique nord aquitain (MONA), peut :

- proposer une modification des valeurs des VMPO,
- constater le changement durable d'état d'une unité de gestion et proposer une modification de son classement.

Sur proposition de la CLE, le Préfet peut arrêter de nouvelles valeurs pour les VMPO et une modification du classement des unités de gestion.

DISPOSITION 94 : MODÈLE MATHÉMATIQUE NORD AQUITAIN DU BRGM

Le Modèle mathématique Nord Aquitain (MONA) est le modèle de référence pour l'élaboration des règles de gestion des nappes profondes, et notamment la fixation ou la révision des volumes maximum prélevables objectifs (VMPO) prévus par la disposition 2 du SAGE.

Les nouveaux prélèvements susceptibles d'avoir un impact régional sur les nappes feront l'objet d'une simulation au sein du MONA pour vérification de la compatibilité avec les règles de gestion.

La mise à jour du MONA est placée sous la maîtrise d'ouvrage et le financement du BRGM. Le modèle est mis à jour tous les ans avec les données de l'année n-2. Les sorties du modèle alimentent le tableau de bord du SAGE (variations des réserves et piézométrie).

Les développements du MONA se font sous la maîtrise d'ouvrage du BRGM en concertation avec les partenaires historiques et l'EPTB des nappes profondes, en vue de répondre aux objectifs du SAGE.

Les données numériques de base du modèle (géométrie, paramètres hydrodynamiques, conditions aux limites, prélèvements) sont publiques. Ces données sont mises à disposition de tout demandeur par le BRGM qui élabore un protocole ad hoc.

L'utilisation du MONA pour des simulations à la demande d'un tiers est cadrée par un protocole précisant notamment les conditions économiques et les délais.

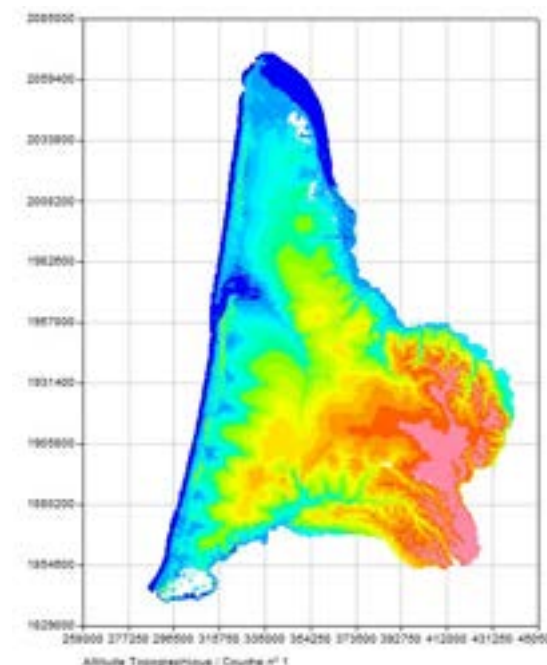
Plan d'aménagement et de gestion durable de la ressource, 2013 – SAGE NP de Gironde

Le modèle Plio-Quaternaire

Contexte / Objectif / Enjeux :

- Le système aquifère multicouche du Plio-Quaternaire est présent en surface sur l'ensemble du « triangle landais » / fortes relations nappes/rivières / réseau de drainage très dense
- Faible profondeur et réserves d'eau importantes → intérêt économique pour l'irrigation.
- Nombre d'ouvrages vraisemblablement bien supérieur à 10 000.
- Les prélèvements agricoles, relativement mal connus, peuvent être estimés à plus de 200 millions de m³ par an.
- Objectif final → fournir des éléments de compréhension sur le fonctionnement des réservoirs superficiels (recharge, interactions avec les aquifères sous-jacents, relations nappes-rivières, ...) / orienter les SAGE en vue d'une gestion partagée et raisonnée de l'eau à l'échelle de leurs territoires.
- Des modèles locaux issus de cette plate-forme :
 - ✓ Le modèle MOHYS
 - ✓ Le futur modèle SMBVLB

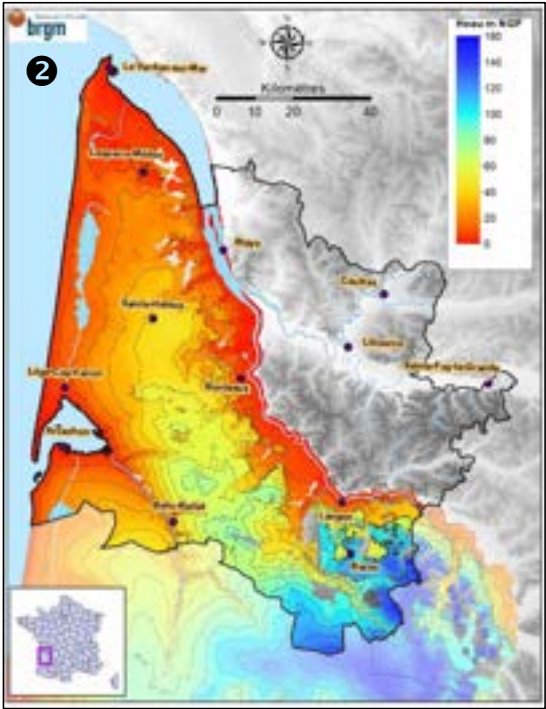
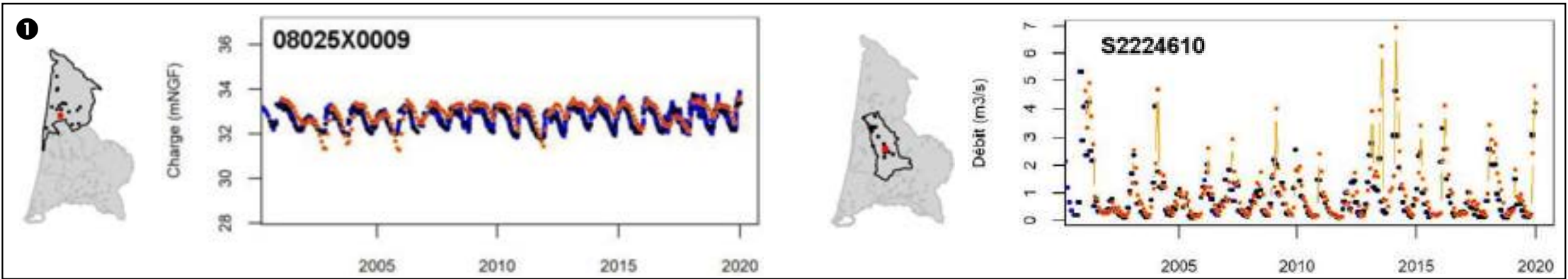
Partenariat :
BRGM/Région/Etat/AEAG



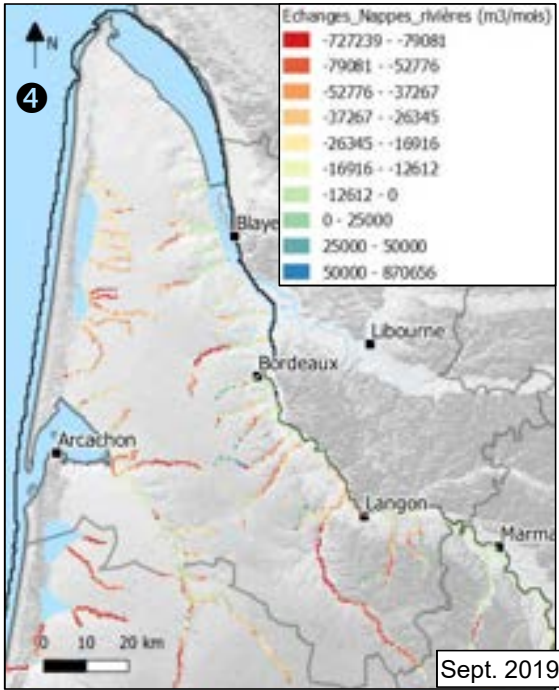
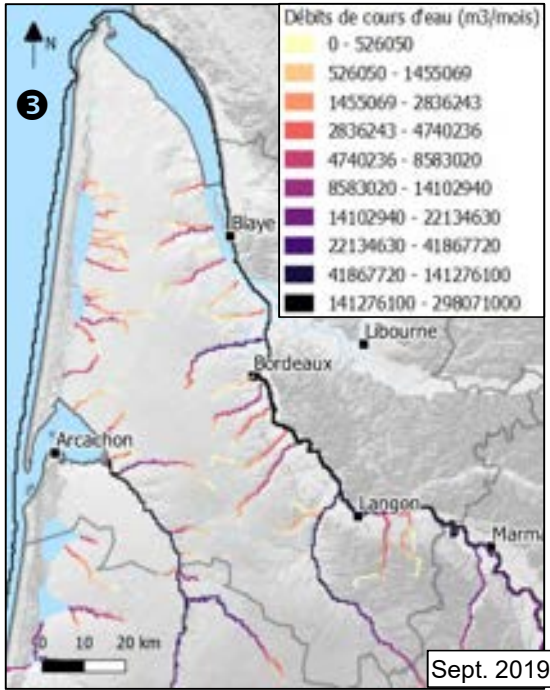
Quelques caractéristiques :

- 17 800 Km²
- 8 couches modélisées
- Mailles carrées de 500 m de côté
- Période simulée : 2000-2019 (en cours d'actualisation)

Le modèle Plio-Quaternaire

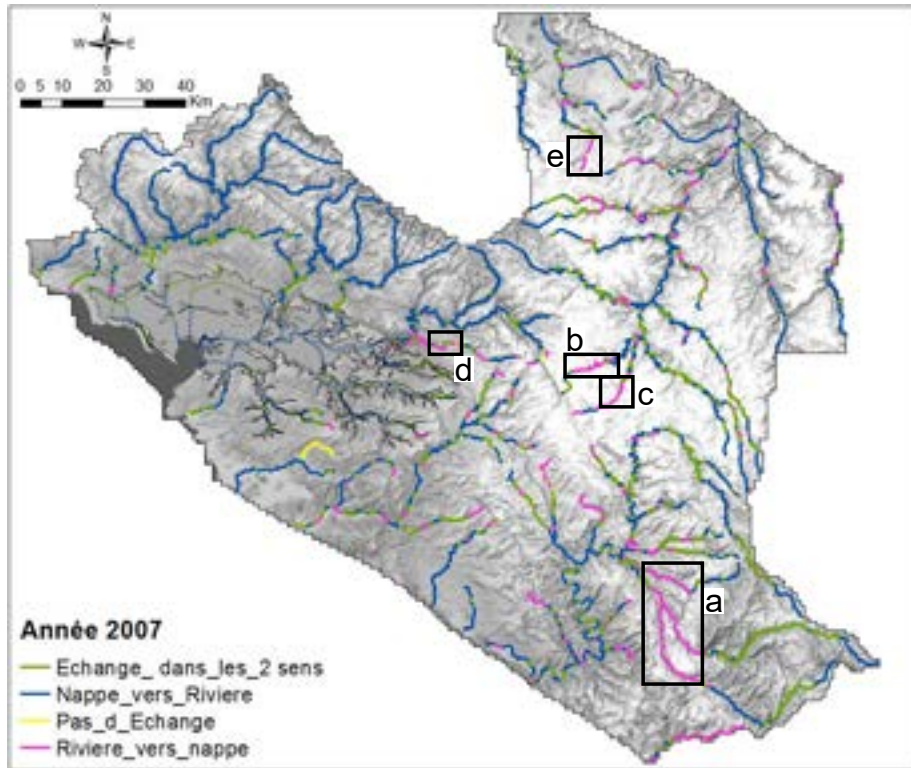


- ❶ Chroniques piézométrique et de débit simulées (calage) vs. observations
- ❷ Carte piézométrique issue du modèle
- ❸ Carte de débits des cours d'eau (par maille)
- ❹ Carte des échanges nappes rivières



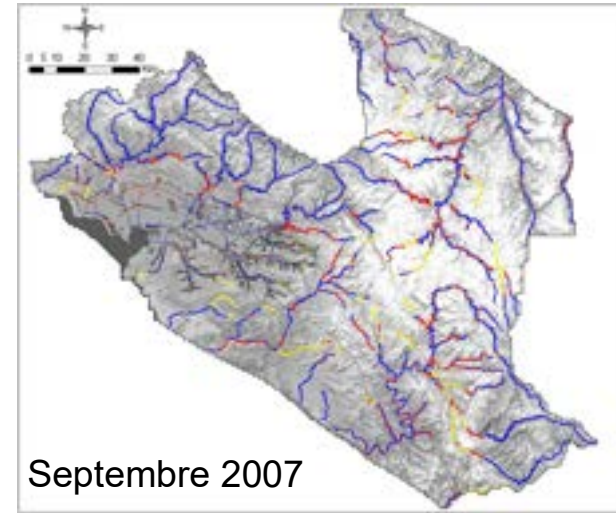
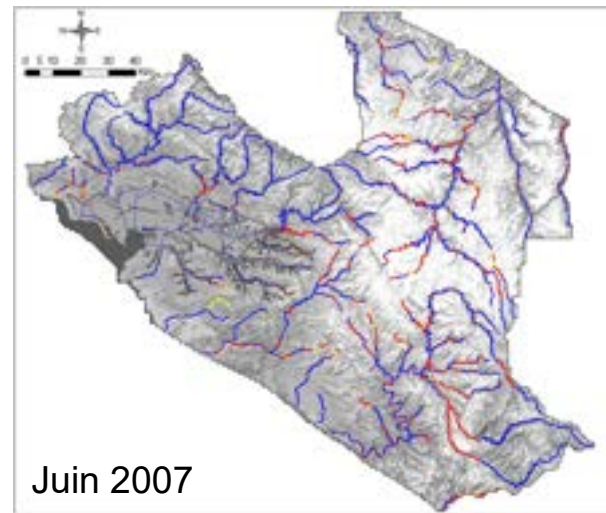
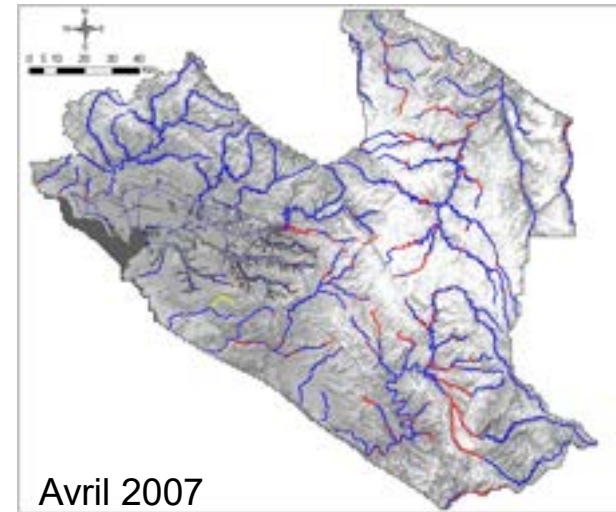
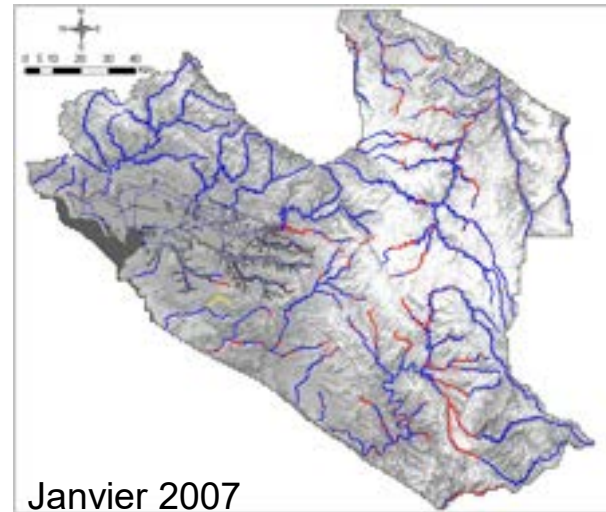
Quelques exemples de résultats – modèle Jurassique du Poitou-Charentes

Caractérisation des relations nappes-rivières – par tronçon (Domez et al., 2011)

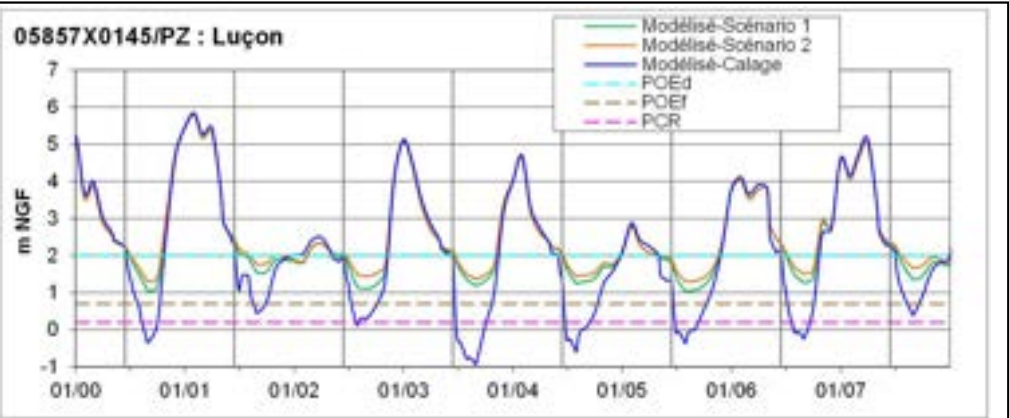


Sens des échanges globaux par tronçon pour l'année 2007 et principales zones de pertes connues :

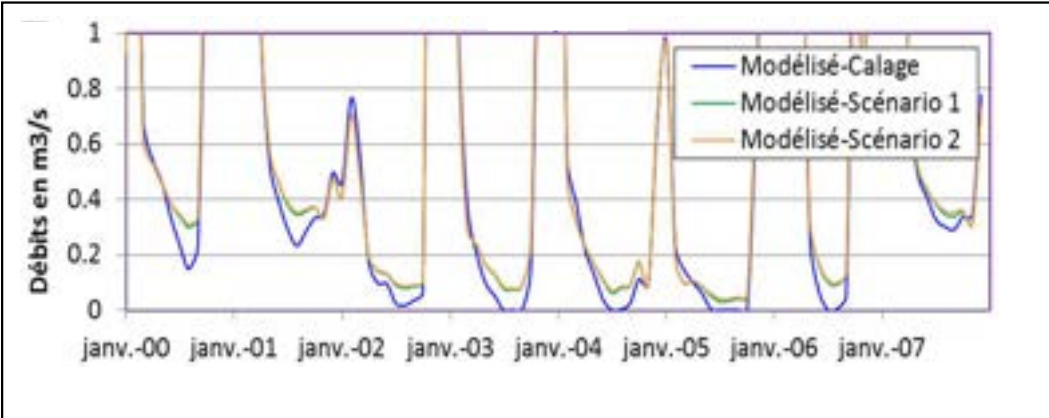
- a) Bandiat, Tardoire et Bonnieure,
- b) Dive du sud,
- c) Bouleure,
- d) Lambon,
- e) Dive du Nord



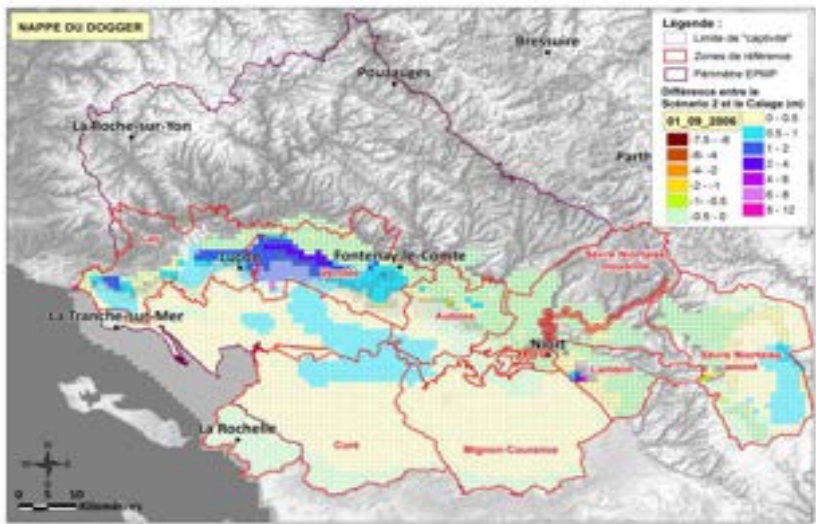
Quelques exemples de résultats - simulations



❶ Chroniques piézométriques simulées pour différents scénarios de prélèvements (Douez et al., 2015)



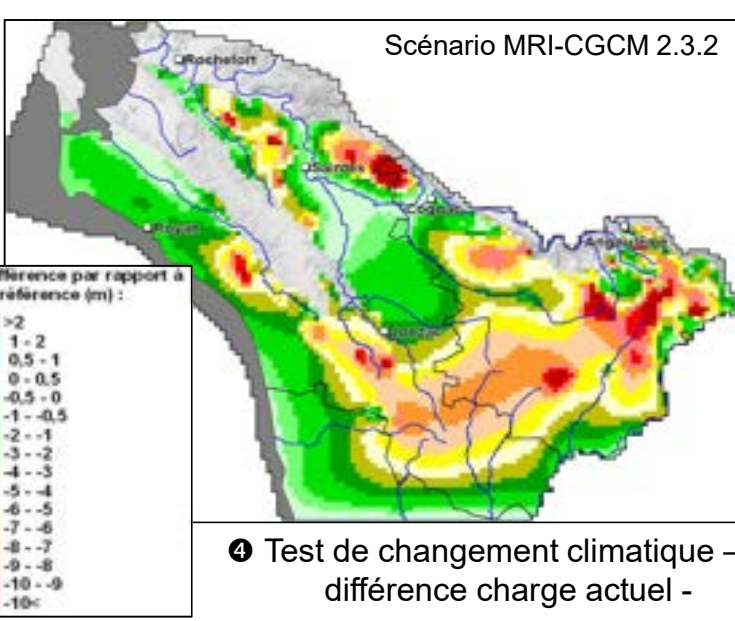
❷ Chroniques de débits simulées « calage » (avec prélèvements) et scénario sans prélèvement



❸ Carte de différence piézométrique : entre 1 scénario de prélèvements et « calage » - (Douez et al., 2015)

Etude pour l'Etablissement Public du Marais Poitevin pour l'obtention de l'autorisation unique de prélèvement (Douez et al., 2015)

Modèle Crétacé du Poitou-Charentes (Douez et al., 2015)



❹ Test de changement climatique – différence charge actuel -

Modélisations spatialisées – des limites, ...

→ Des incertitudes et des limites

- ✓ Dans chaque mailles sont intégrées des données moyennées (à l'échelle de la maille !) → à chaque stade de construction du modèle, des approximations doivent donc être réalisées
 - ✓ Découpage en grands aquifères → simplification par rapport à une réalité complexe de terrain
 - ✓ Le pas de temps mensuel des données introduites → lissage des mesures journalières
 - ✓ Incertitudes des données d'entrées (débits mesurés / prélèvements & rejets → ventilation ?), pluie/ETP – RU,...
- En fonction de l'**échelle de travail**, on ne pourra pas demander la même précision des résultats selon l'outil, notamment sur le calage. L'écart relatif acceptable entre le calage et la réalité sera très différent, un calage fin pourra être demandé sur un modèle très local mais ne pourra pas être exigé à une échelle régionale.
- En fonction de la **complexité hydrogéologique, géologique et structurale** de différents secteurs modélisés, les données observées peuvent être plus ou moins biens restituées.



Différents types de modèles

	Modèles globaux		Modèles basés physiquement (mécanistes)
	« Boîte noire »	Conceptuel	Modèles spatialisés
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessitent peu de données : séries de données climatiques (pluies, ETP), de niveaux et/ou de débits - Temps de calculs très brefs ⇒ possibilité de simuler de très nombreux scénarios climatiques par exemple. 		<ul style="list-style-type: none"> - Les modèles spatialisés (maillés) offrent la plus grande gamme de possibilités - Permettent de prendre en compte la variabilité spatiale - Permettent de prévoir les effets d'un changement des caractéristiques physiques du système modélisé
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Ne permettent pas de prendre en compte la variabilité spatiale (modèles globaux) ou faiblement (modèles semi-distribués) - Ne sont pas adaptés à la prévision des effets de changements naturels ou anthropiques des caractéristiques physiques des bassins versants 		<ul style="list-style-type: none"> - Nécessitent beaucoup de données - Mise en œuvre longue (construction, calage) ⇒ coûteux - Temps de calculs pouvant être longs ⇒ des simulations prévisionnelles limitées à quelques scénarios Modèles

- La force des outils développés par le BRGM :**
 - ✓ Des outils pérennes du fait de mises à jour et d'utilisation régulière (force du BRGM). Ces outils doivent être sans cesse améliorés et alimentés avec les dernières données pour se rapprocher au plus près de la réalité,
 - ✓ Des agrégateurs de données de bases validées (géologie, hydrogéologie, météorologie etc.),
 - ✓ Une implication des acteurs locaux,
 - ✓ La possibilité de faire des zooms pour des problématiques locales (études de champs captant, problématiques locales de dénoyages etc.).

MERCI DE VOTRE ATTENTION

JOURNÉE EAUX SOUTERRAINES

Focus sur les relations nappes/rivières

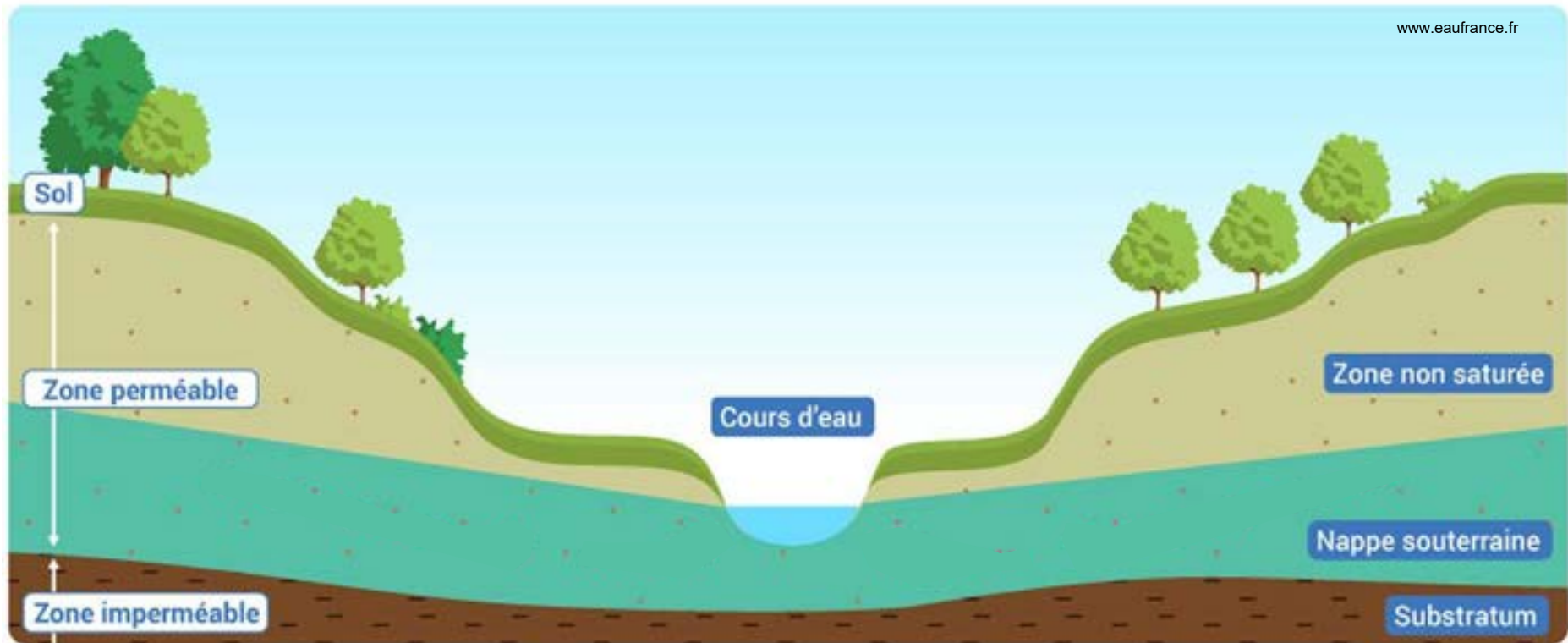
Christelle Castillo
20/10/2022

Relations nappe-rivière

→ Les eaux souterraines et les eaux de surface sont généralement connectées

Eaux souterraines et eaux de surface sont deux états de la ressource en eau, deux phases du cycle de l'eau.

« Elles présentent des relations et une interdépendance hydrologique si étroite qu'en fait toutes deux constituent une ressource unique » (Castany, 1965).

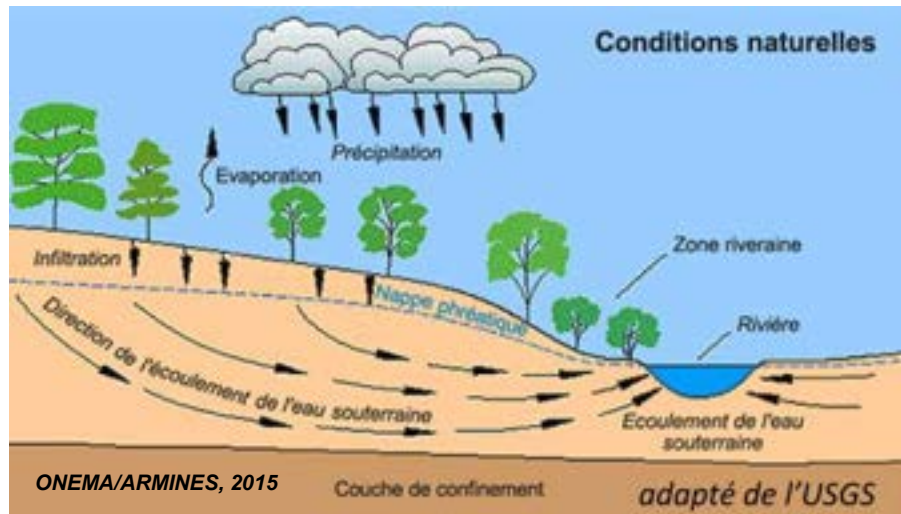


Relations nappe-rivière = échange d'eau, dans un sens ou dans l'autre entre eau souterraine et cours d'eau.

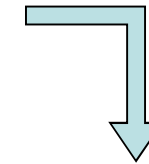
Des relations qui dépendent des facteurs hydrogéologiques

Les facteurs géologiques et morphologiques

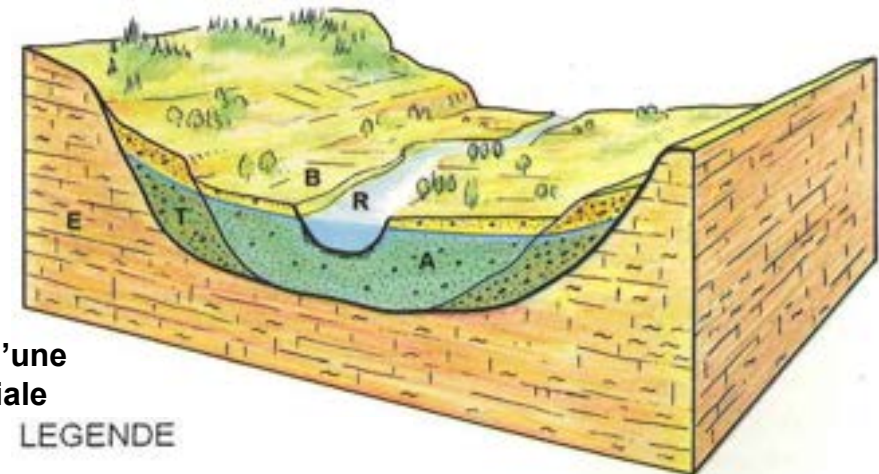
- Différents facteurs de nature morphologique (terrasses alluviales) et géologique (lithologie des alluvions et des terrains encaissants) interviennent dans les relations



D'une représentation simplifiée du bassin versant ...



... à une réalité plus complexe.



Coupe type d'une nappe alluviale

LEGENDE

R	Rivière
B	Berges
A	Alluvions
T	Terrasses
E	Terrains encaissants

Source : Daum et al., 1997, dans Vernoux et al., 2010)

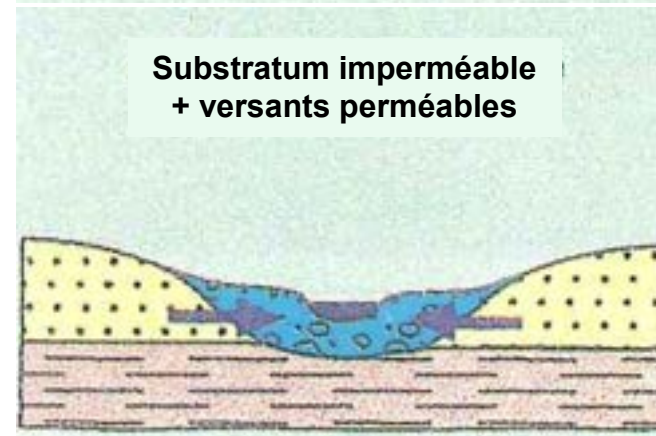
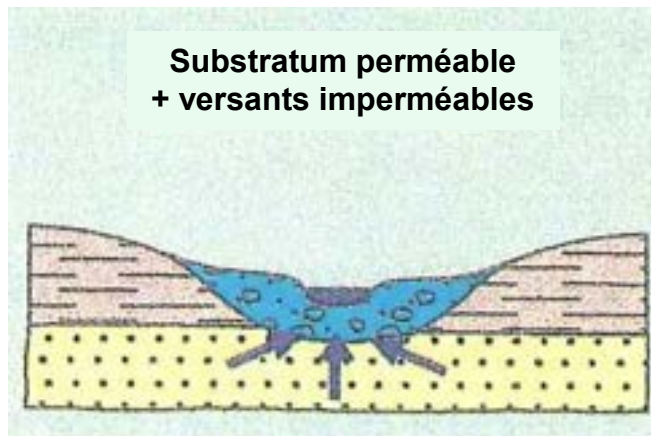
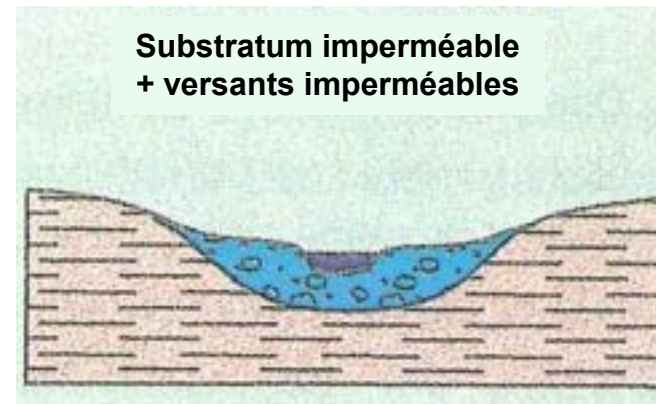
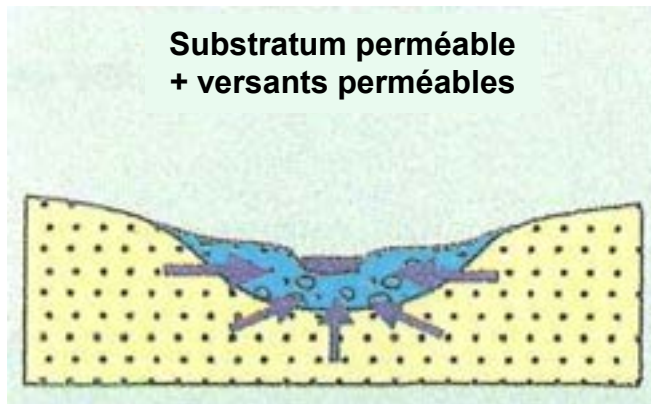
- Des formations alluvionnaires plus ou moins présentes sous forme de « terrasses » en relation ou non avec les roches encaissantes (aquifères ou non)

Des relations qui dépendent des facteurs hydrogéologiques

Les facteurs géologiques et morphologiques

→ Relations d'une nappe alluviale avec les terrains encaissants

- Différents cas fonction des éléments B (berges), A (alluvions), T (terrasses) et E (terrains encaissant) :
 - ✓ Existent ou non ou que sur une rive,
 - ✓ Sont représentés par des formations perméables ou non,
 - ✓ Ou sont eux-mêmes composés de formations lithologiques distinctes.

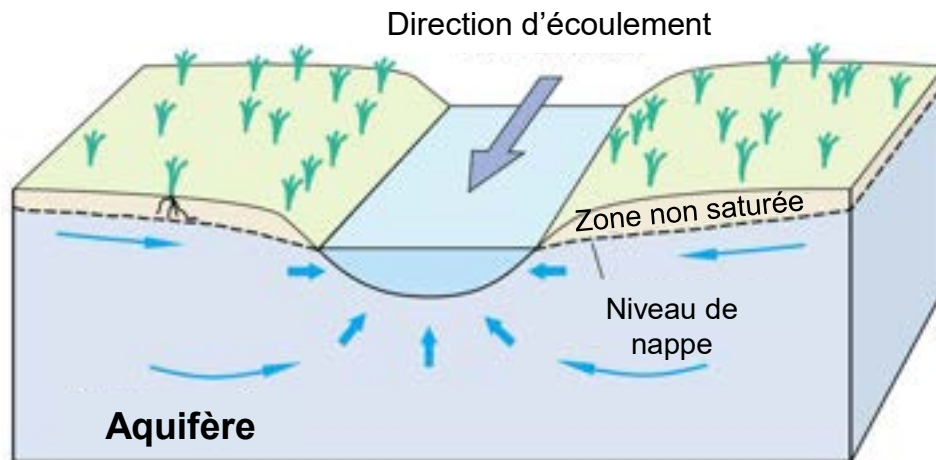


Source : Daum et al., 1997, dans Vernoux et al., 2010

Les relations nappe/rivière

Les différents types de relations (échanges)

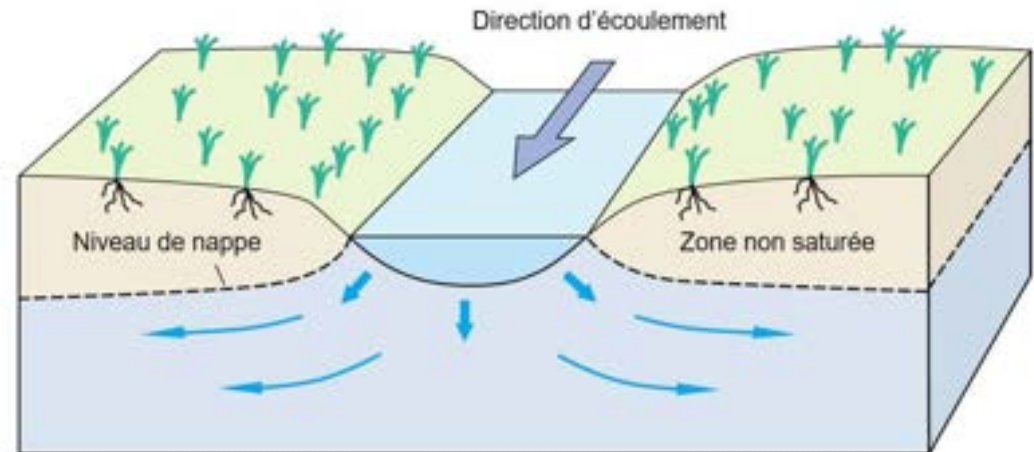
→ **Fonction des niveaux de nappes et du cours d'eau (+ cote du fond du lit du cours d'eau)**



Winter et al., 1998

- ✓ **La nappe** est en relation avec la rivière et **est alimentée par la rivière** - le niveau piézométrique est inférieur à l'altitude de la ligne d'eau de la rivière.

- ✓ **La nappe** est en relation avec la rivière et l'**alimente** - le niveau piézométrique est supérieur à l'altitude du niveau d'eau en rivière.

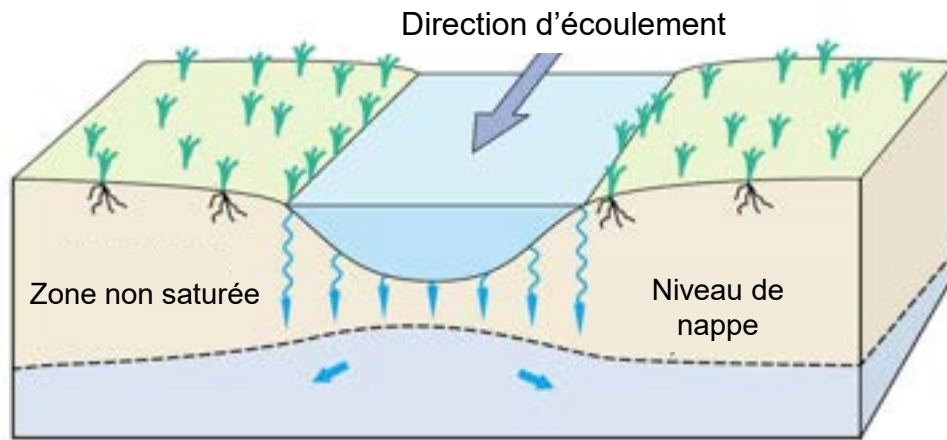


Winter et al., 1998

Les relations nappe/rivière

Les différents types de relations (échanges)

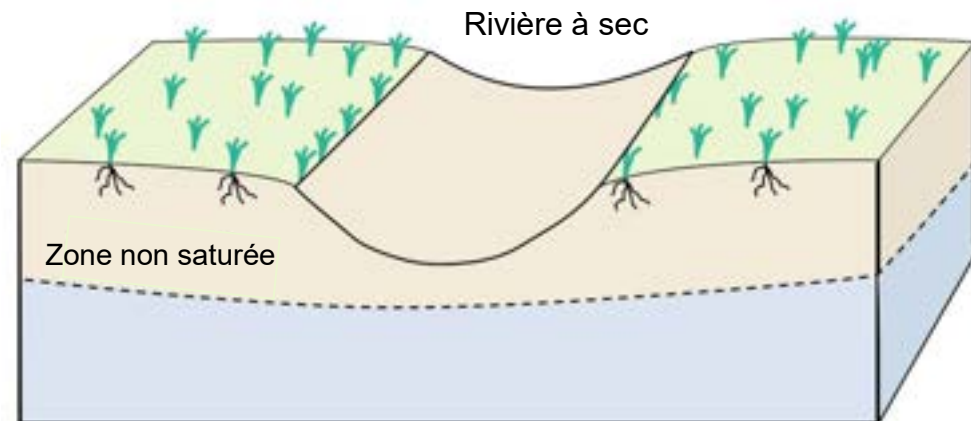
➔ **Fonction des niveaux de nappes et du cours d'eau (+ cote du fond du lit du cours d'eau)**



Winter et al., 1998

- ✓ La nappe est décrochée par rapport à la rivière, **la rivière alimente la nappe** via la zone non saturée par « **percolation** ».

- ✓ **Pas d'échange** entre aquifère et rivière (domaine non aquifère ou aquifère avec des berges colmatées).
- ✓ Rivière à sec.

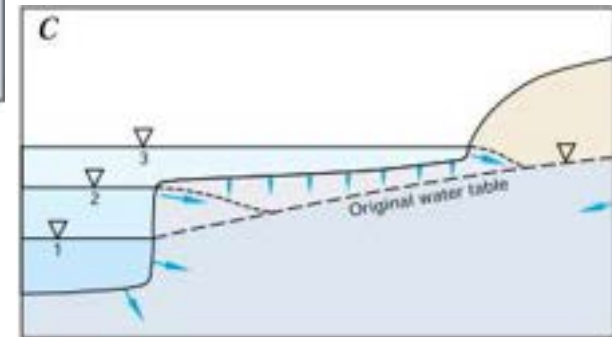
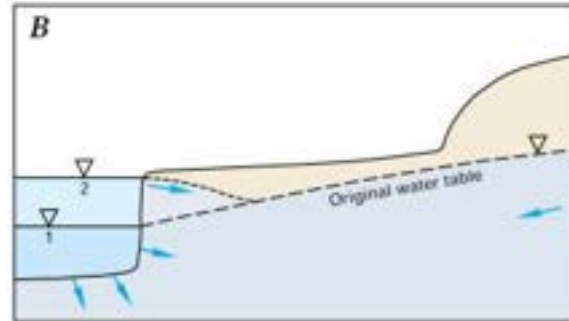
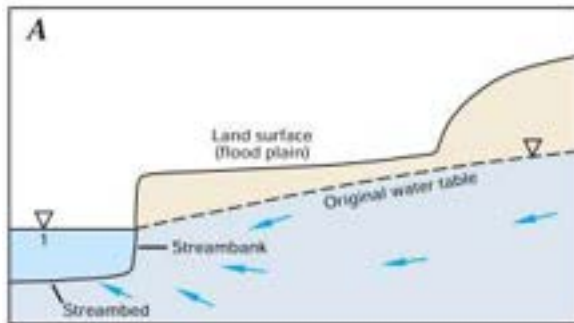


Les relations nappe/rivière

Les différents types de relations (échanges)

➔ L'ensemble des cas peuvent se rencontrer le long d'un même cours d'eau

- Pour un même tronçon de rivière, ces relations **peuvent changer dans le temps** en fonction des conditions hydrologiques et hydrogéologiques



Exemple :

En état non influencé par des facteurs anthropiques (prélèvements), la nappe alimente la rivière à l'étiage et la rivière alimente la nappe en période de crue.

Les relations nappe/rivière

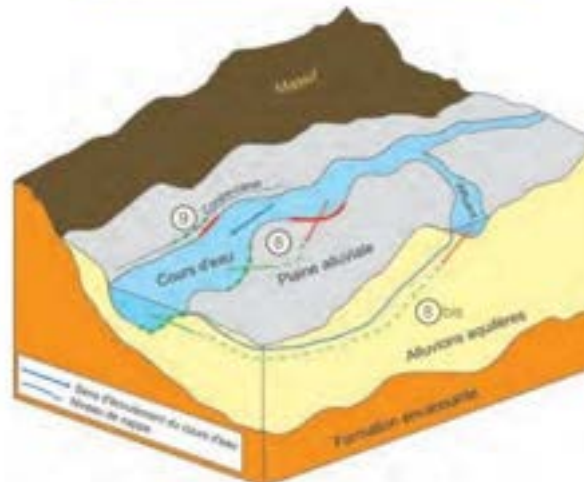
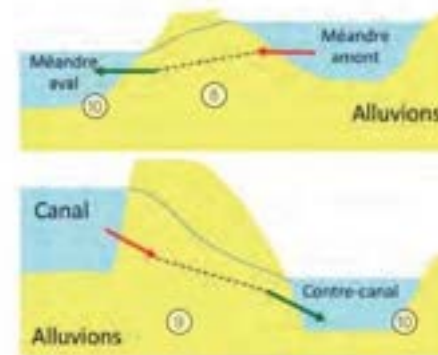
Les différents types de relations (échanges)

→ L'ensemble des cas peuvent se rencontrer le long d'un même cours d'eau

- Pour un même tronçon de rivière, ces relations peuvent changer dans le temps en fonction des conditions hydrologiques et hydrogéologiques

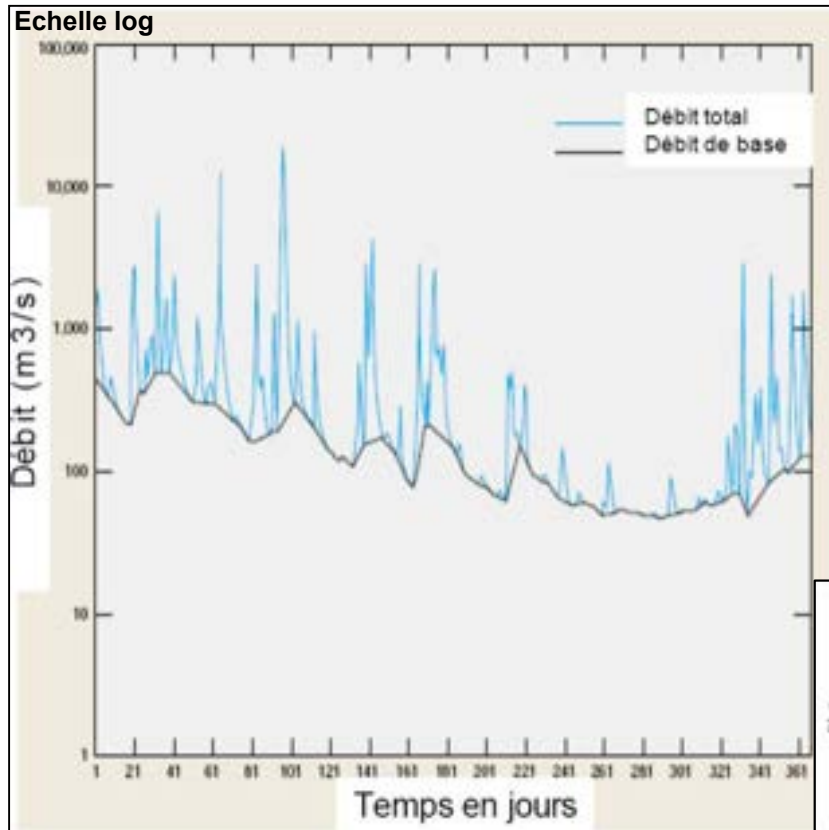
- ⑧ Sous-écoulement d'eau superficielle via le milieu souterrain vers une rivière
- ⑨ Sous-écoulement d'eau superficielle via le milieu souterrain vers un canal

- En fonction des variations spatiales



Le débit des cours d'eau...

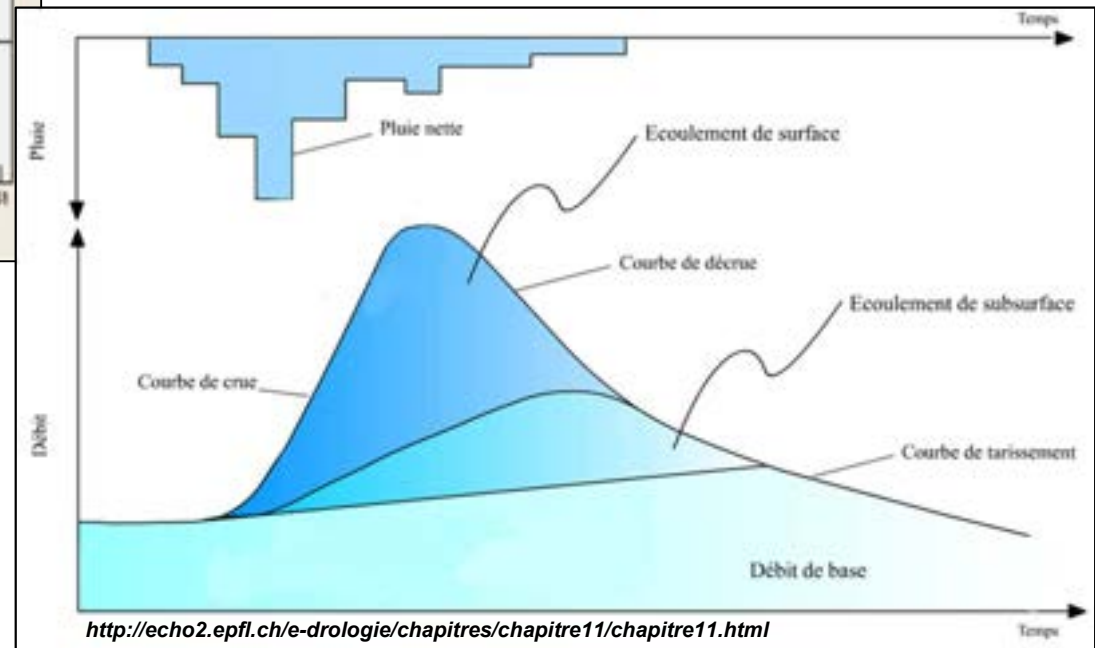
... fonction des flux échangés avec la nappe



Composante eau souterraine du débit d'un cours d'eau (Source : Vernoux et al., 2011)

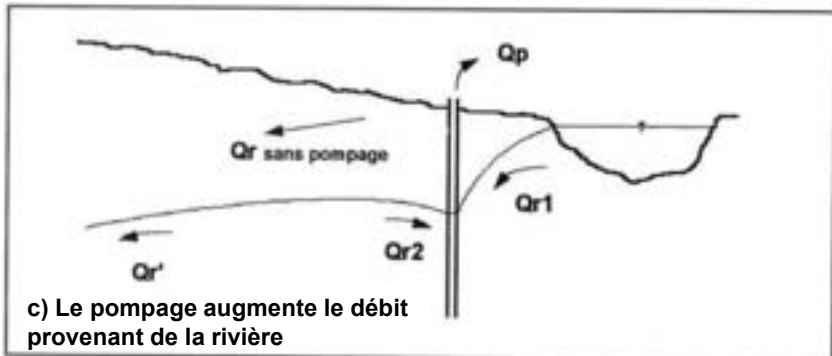
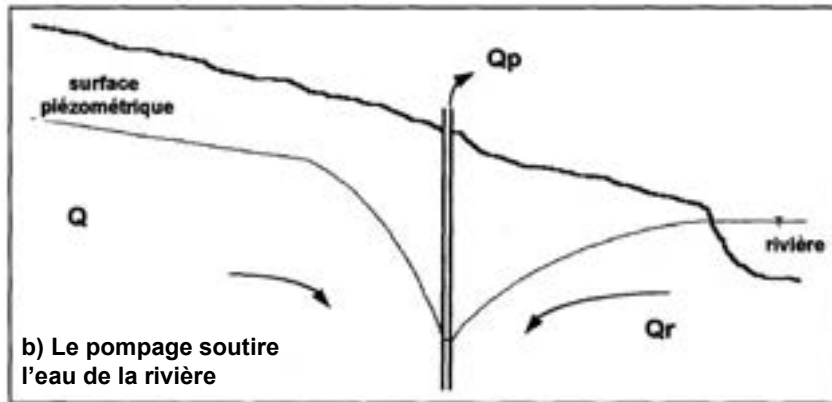
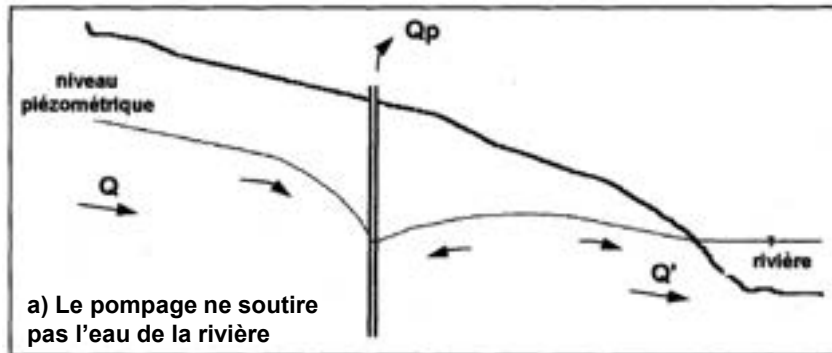
- Dans des conditions naturelles, le débit des cours d'eau peut être ramené à la somme de deux composantes :

- ✓ Une **composante rapide** correspondant au ruissellement superficiel (compartiment superficiel) et à la composante rapide des écoulements karstiques (composante souterraine),
- ✓ Une **composante plus lente** correspondant au drainage des aquifères – compartiment souterrain correspondant au débit de base.



Impact des prélèvements en nappe...

... sur le débit des cours d'eau



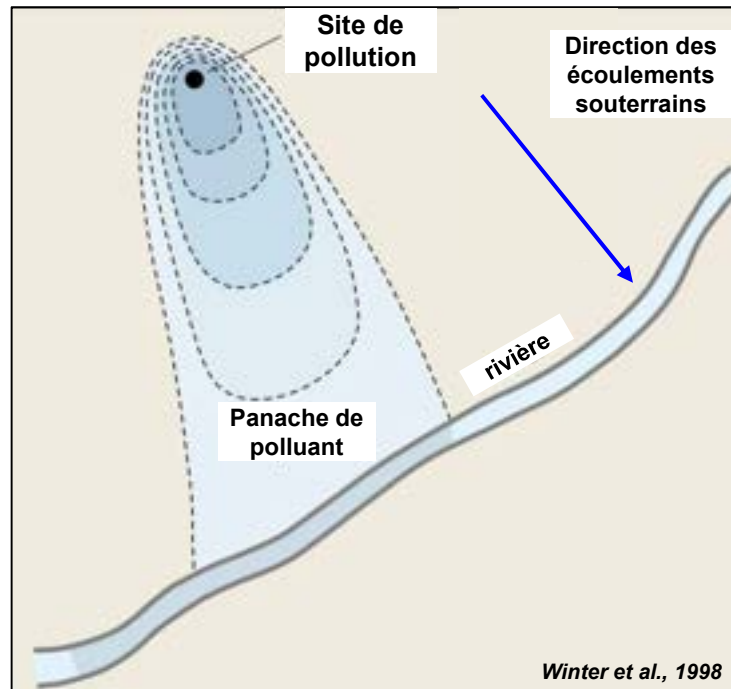
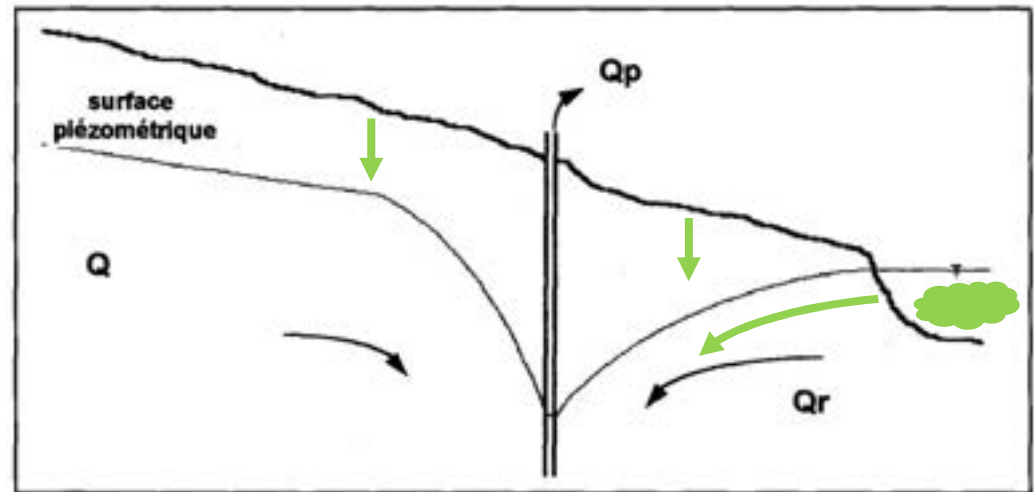
- Les flux d'eau entre nappe et rivière peuvent être influencés par des aménagements anthropiques (ex. : pompages en nappe) :

- ✓ Dans le cas où la nappe est drainée par la rivière, le flux d'eau de la nappe à la rivière peut être réduit (a), voire supprimé ou inversé (b), ce qui induit une diminution du débit de la rivière pouvant aller jusqu'à son assèchement
- ✓ Dans le cas où la rivière alimente la nappe, le flux d'eau de la rivière vers la nappe peut être augmenté alors que le débit qui alimentait la nappe avant le pompage est diminué (c).

Questions : décalage temporel de l'impact (pompage saisonnier) ? où sont les zones préférentielles d'infiltration ? et si le fond de la rivière est peu perméable ?

Question de qualité...

- Ex. impact d'une pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines (vulnérabilité des pompages en nappe)



- Ex. impact d'une pollution des eaux souterraines sur la qualité des eaux de surface
 - ✓ Dégradation de la qualité des eaux de surface
 - ✓ Vulnérabilité des usages en aval de la rivière (prélèvement en eau de surface)

Relations nappe/rivière et enjeux

Enjeux associés

Apport de la nappe à la rivière (ou à des eaux superficielles)

Enjeux de gestion

Apports de nappe aux chenaux actifs d'un cours d'eau

Soutien du débit d'étiage

Tamponnage thermique et maintien d'une faune et d'une flore d'eau froide

En cas de pollution des nappes, risque de dégradation de la qualité des eaux superficielles

En cas de surexploitation de la nappe, risque d'assec sévère, de réchauffement des cours d'eau

Apports de nappe aux zones humides associées à un cours d'eau

Maintien des zones humides lors d'assèchements estivaux prolongés

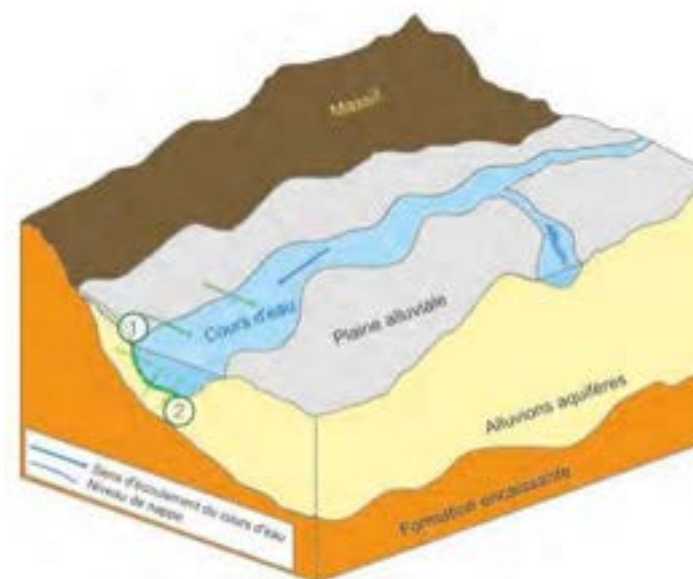
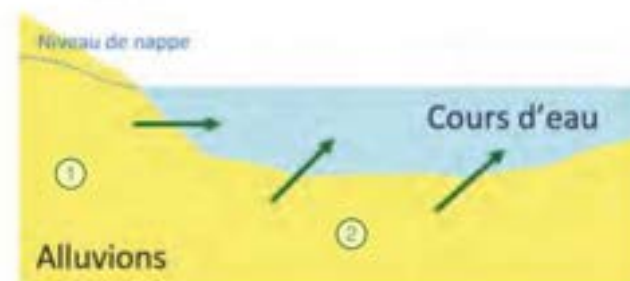
Maintien d'une faune et d'une flore d'eau froide à forte valeur patrimoniale (tamponnage thermique, limitation désoxygénation, maintien oligotrophie)

En cas de pollution des nappes, risque de dégradation de la qualité de la zone humide

En cas de surexploitation de la nappe, risque d'eutrophisation et de bloom algaux de la zone humide

Guide technique interactions nappe/rivière, AFB 2017

- ① apport latéral
- ② apport par le fond



Relations nappe/rivière et enjeux

Enjeux associés

Apport de la rivière (ou d'eaux superficielles) à la nappe

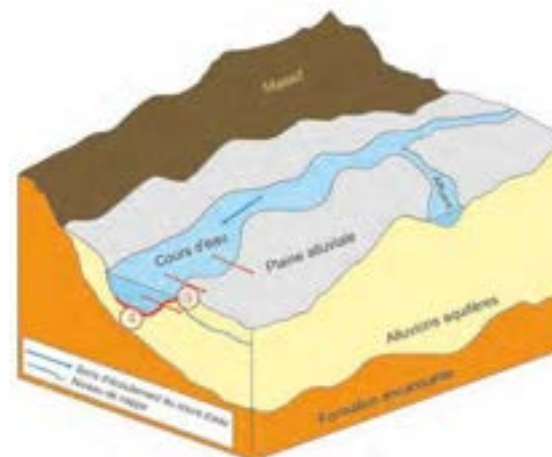
Enjeux de gestion

Ouvrages de captage d'eau

Délimitation de zone de captage potentiellement favorable
Risque de pollution de nappe par les eaux superficielles
Recherche d'une barrière hydraulique (artificielle) pour protéger une nappe de contaminations provenant du cours d'eau principal

Débit de la rivière

Pertes en eau sur certains linéaires de cours d'eau

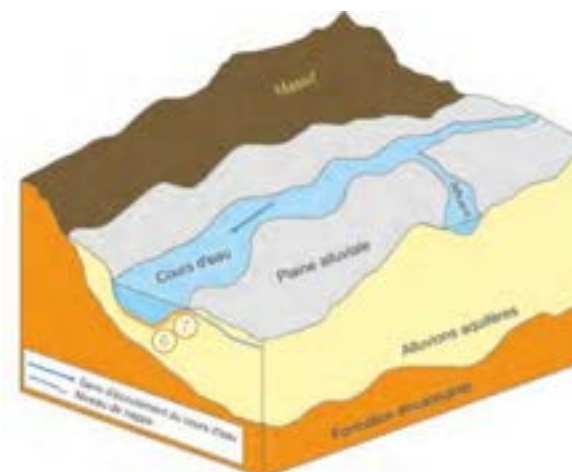


Guide technique interactions nappe/rivière, AFB 2017

Colmatage entre la nappe et la rivière

Enjeux de gestion

Zone peu favorable à l'implantation de captages pouvant utiliser les ressources souterraines et de surface
Zone peu vulnérable à la pollution (dégradation d'une masse d'eau par l'autre)
Anoxie des sédiments, forme réduite de l'azote et de certains polluants
Si le colmatage est d'origine anthropique, perte de biodiversité et de capacité d'autoépuration, réchauffement excessif du cours d'eau en été par rapport à l'état naturel

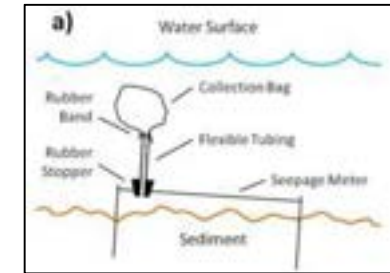


Guide technique interactions nappe/rivière, AFB 2017

Caractérisation et/ou quantification

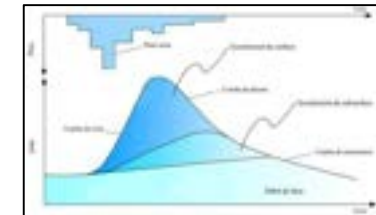
Méthodes directes

- **Le compteur d'exfiltration (Seepage meters)**
 - ✓ Mesure du flux d'eau souterrain transitant à l'interface eau-sédiment
- **Jaugeages différentiels pour déterminer l'évolution amont-aval du débit**
 - ✓ Mesure de débit dans des sections successives du cours d'eau



Méthodes indirectes

- **Approches hydro(géo)logiques**
 - ✓ Basée sur la loi de Darcy - quantification des échanges à partir du gradient hydraulique et des paramètres hydrogéologiques
 - ✓ Analyse d'hydrogramme : basée sur l'analyse des courbes - décomposition du débit en une composante lente de la nappe et une composante rapide (ruissellement).
- **Approches hydrochimiques (« traceurs » naturels ou artificiels)**
 - ✓ Quantification des molécules dites conservatives ou des isotopes présents dans les eaux : ions majeurs, isotopes (oxygène 18 et deutérium / radioactifs : Tritium, Radon, Strontium...) + paramètres physico-chimiques (T°, conductivité, pH, redox Eh), ...
 - ✓ Traceurs artificiels (fluorescéine, éosine, sel, etc...) – suivi entre un point d'injection (souterrain ou surfacique) et plusieurs points de suivi (souterrains et surfaciques).



Caractérisation et/ou quantification

Méthodes indirectes

- **Approches biologiques**

- ✓ Bio-indicateurs : diatomées, macrophytes, macroinvertébrés benthiques, stygobies, ...

- **Approches géophysiques**

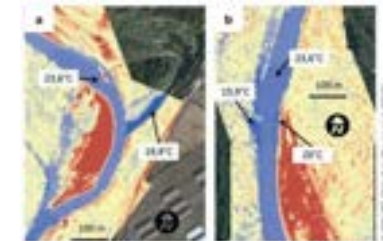
- ✓ Méthodes géophysiques classiques : radar ou résistivité électrique pour détecter la position des couches géologiques, voire la position de la nappe phréatique
- ✓ Mesures thermiques à l'aide de fibres optiques disposées au fond du lit du cours d'eau
- ✓ Images thermiques infrarouges (IRT)...



Figure 10. Photographie d'une plante macrophyte.



Photo 11. Exemple d'inventaire aquatique - *Procladius (Procladius)*.



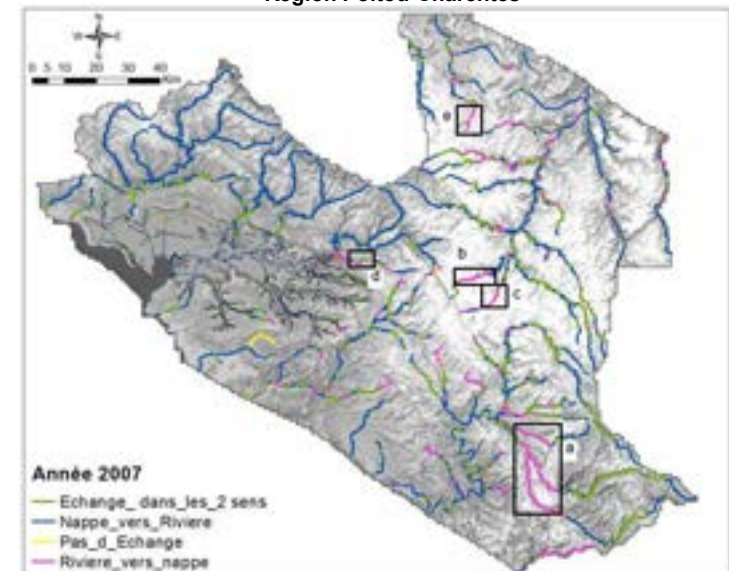
Anomalies thermiques estivales mesurées le long de l'Aisne

Couplées aux connaissances acquises en hydro(géo)logie, l'ensemble de ces données ainsi que les suivis (débits de cours d'eau, suivis piézométriques) permettent le développement d'outils de modélisations spatialisés prenant en compte les relations nappe/rivière et de les contraindre pour mieux restituer les flux échangés aux cours du temps.

- **Une fois calé** (recherche de paramètres qui permettent la meilleure adéquation possible entre les valeurs calculées par le modèle et les données observées), **ces outils permettent :**

- ✓ De simuler les échanges nappes-rivières sur un ensemble de tronçons de cours d'eau
- ✓ Analyser l'impact des prélèvements sur les cours d'eau
- ✓ Analyser l'impact du changement climatique
- ✓ Simuler des flux de pollution
- ✓ Gestion des hydrosystèmes

Modèle de gestion des aquifères du Jurassique – Région Poitou-Charentes



Quelques documents de référence

2011 - Vernoux J. F., Lions J., Petelet-Giraud E., Seguin J.J., Stollsteiner P., Lalot E. (2011) – Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE, rapport BRGM/RP-57044-FR

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57044-FR.pdf>

2015 - Paran F., Arthaud F., Novel M., Graillot D., Bornette G., Piscart C., Marmonier P., Lavastre V., Travi Y., Cadilhac L. (2015) Caractérisation des échanges nappes/rivières en milieu alluvionnaire – Guide méthodologique. Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse – Eau et connaissance, 178p.

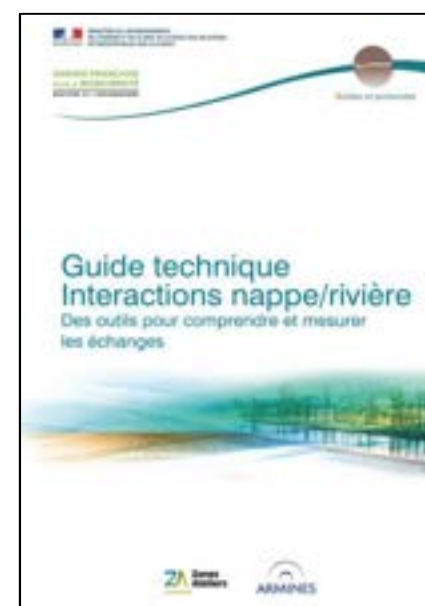
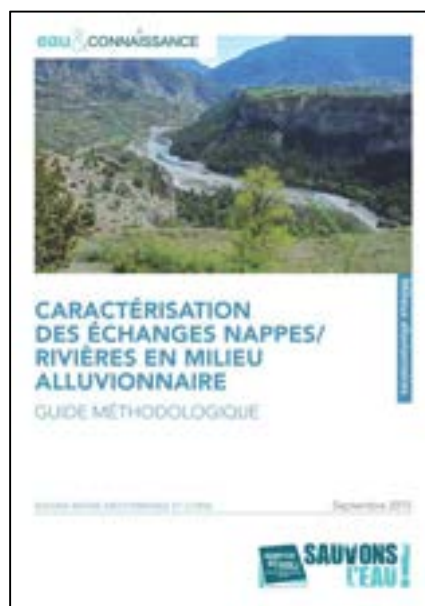
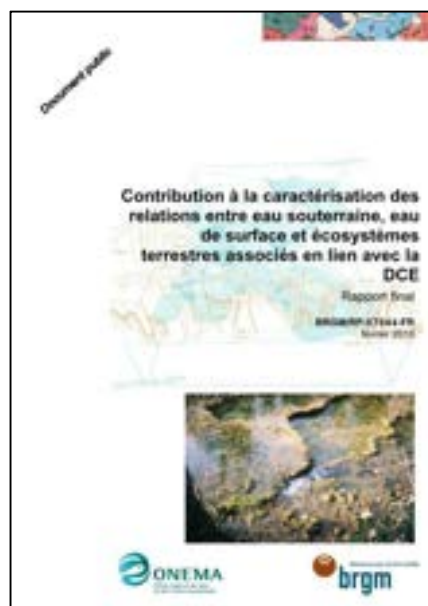
http://www.graie.org/zabr/zabrdoc/Guides_methodo/Guide_Echanges_NR_RMC_VF.pdf

2016 - Brugeron A., Auterives C., Renaud C. (2016) – Approche exploratoire des liens entre référentiels hydrogéologique et hydrographique. Etat de l'art sur les méthodes de caractérisation des échanges « eau souterraine / eau de surface » et réflexions sur l'organisation de la donnée Rapport final. BRGM/RP-65541-FR

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-65541-FR.pdf>

2017 - OFB - Guide technique - Interactions nappe/rivière - Des outils pour comprendre et mesurer les échanges 2017

<https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-guides-protocoles/interactions-napperiviere-outils-comprendre-mesurer-echanges>





SORTIE TERRAIN – GÉOLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE

Monitoring rivière : la Pimpine

Visite géologique de la côte de la Ruasse à Langoiran

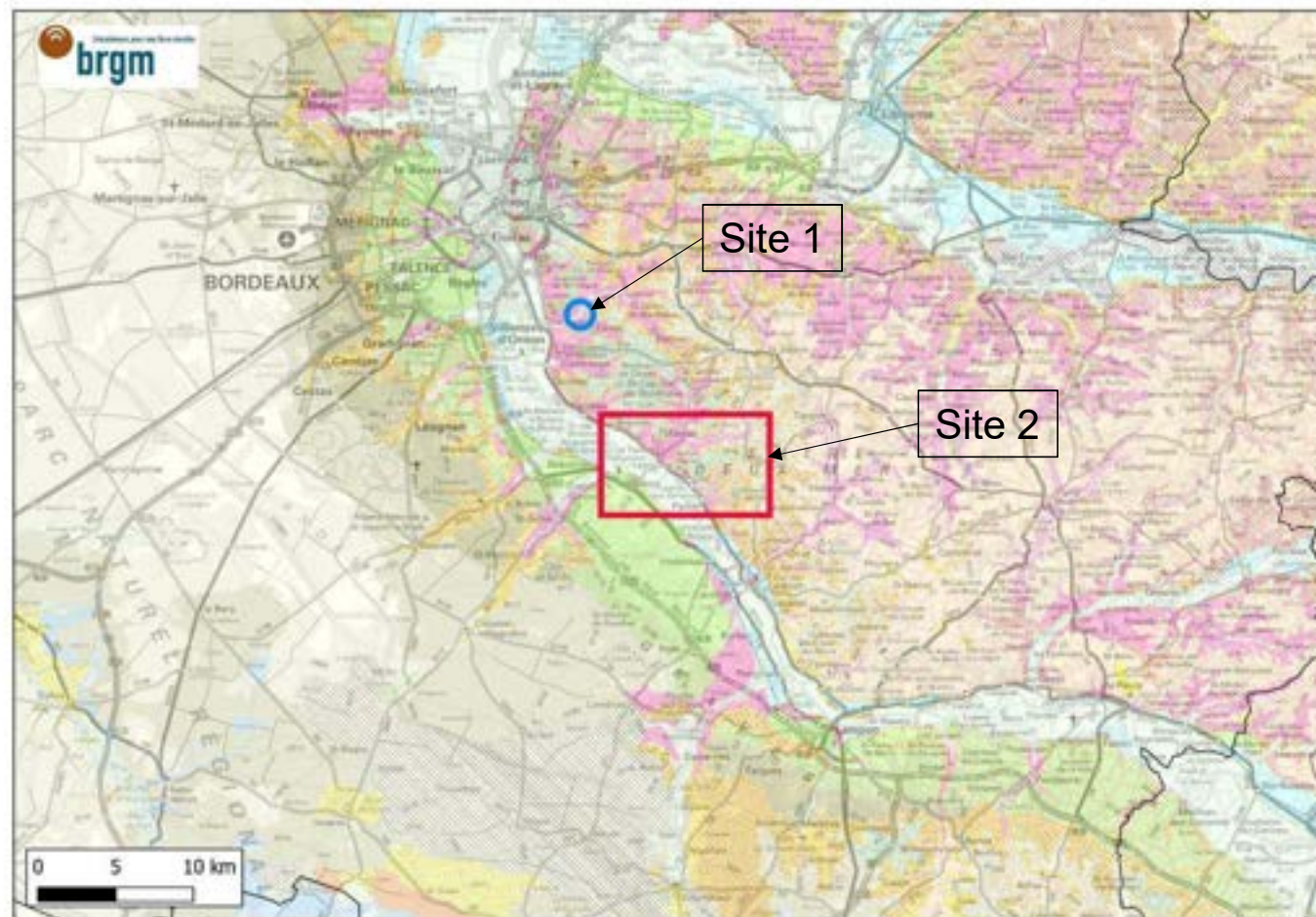
Olivier Douez et Pierre Bourbon
20/10/2022



Sortie terrain – Géologie et hydrogéologie

Circuit de la sortie

- 14h
 - Monitoring rivière
 - Jaugeage sur la Pimpine
- 15h
 - Visite géologique
 - Côte de la Ruasse
- 16h
 - Fin de la visite



Sortie terrain – Géologie et hydrogéologie

Circuit de la sortie

- 14h
 - **Monitoring rivière**
 - Jaugeage sur la Pimpine
- 15h
 - **Visite géologique**
 - Côte de la Ruasse
- 16h
 - Fin de la visite



Sortie terrain – Géologie et hydrogéologie

Circuit de la sortie

- 14h
 - **Monitoring rivière**
 - Jaugeage sur la Pimpine
- 15h
 - **Visite géologique**
 - Côte de la Ruasse
- 16h
 - **Fin de la visite**



Parking de l'étang des sources

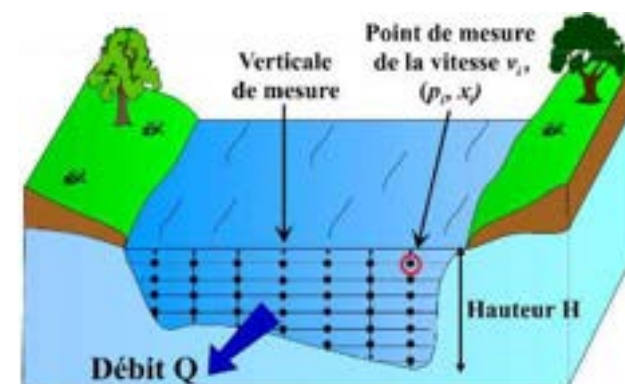
Allée Bernadotte à Cenac

=> *Extrémité Nord de l'allée*

=> *Entre les croisement :*

- Avenue de Latresne
- Piste cyclable

Sortie terrain – Géologie et hydrogéologie



- 14h
 - **Monitoring rivière**
 - Jaugeage sur la Pimpine
- 15h
 - **Visite géologique**
 - Côte de la Ruasse
- 16h
 - **Fin de la visite**



Sortie terrain – Géologie et hydrogéologie

Circuit de la sortie

- 14h
 - Monitoring rivière
 - Jaugeage sur la Pimpine
- 15h
 - **Visite géologique**
 - Côte de la Ruasse
- 16h
 - **Fin de la visite**



Parking de la côte de la Ruasse

Pl du Dr Abaut – Côte de la Ruasse à Langoiran

=> Derrière l'église et la mairie

=> A gauche, au début de la montée

Pour bien comprendre ce qu'on va voir

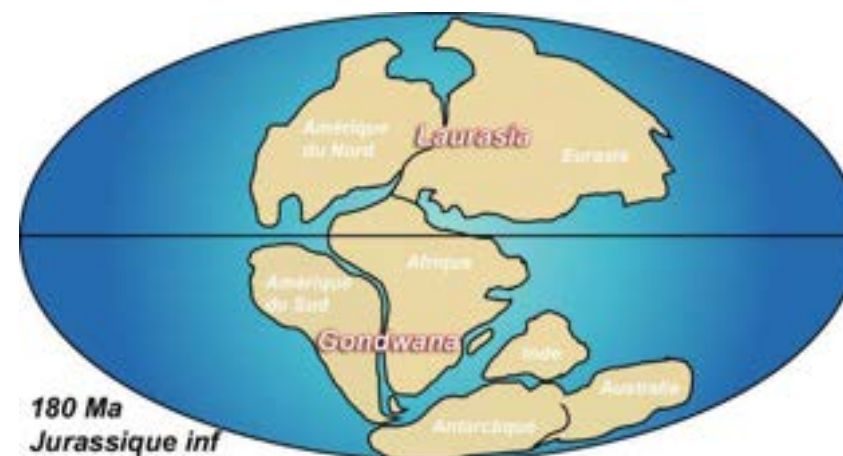
Le Bassin Aquitain

- Genèse du bassin Aquitain



→ **Chaîne Varisque ou « Hercynienne »**
(Massif armoricain, Massif central, Massif ardennais,
Vosges-Forêt-Noire, Massif de Cornouailles,
Appalaches, Mauritanides, ...)
⇒ **Chaîne des montagne actives**

TECTONIQUE DE COLLISION



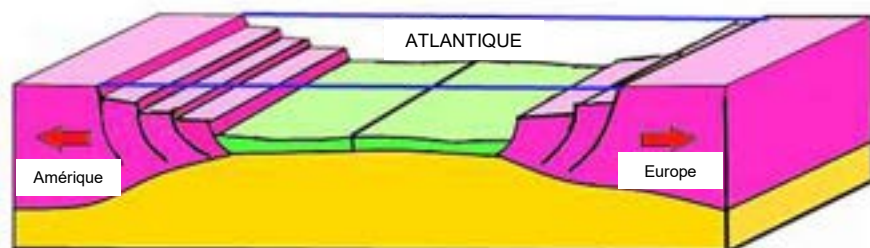
→ **Ouverture de l'Atlantique**
→ **Développement d'une « dépression » d'échelle crustale**
(≠ montée de niveau marin)
⇒ **Subsidence**

TECTONIQUE DIVERGENTE

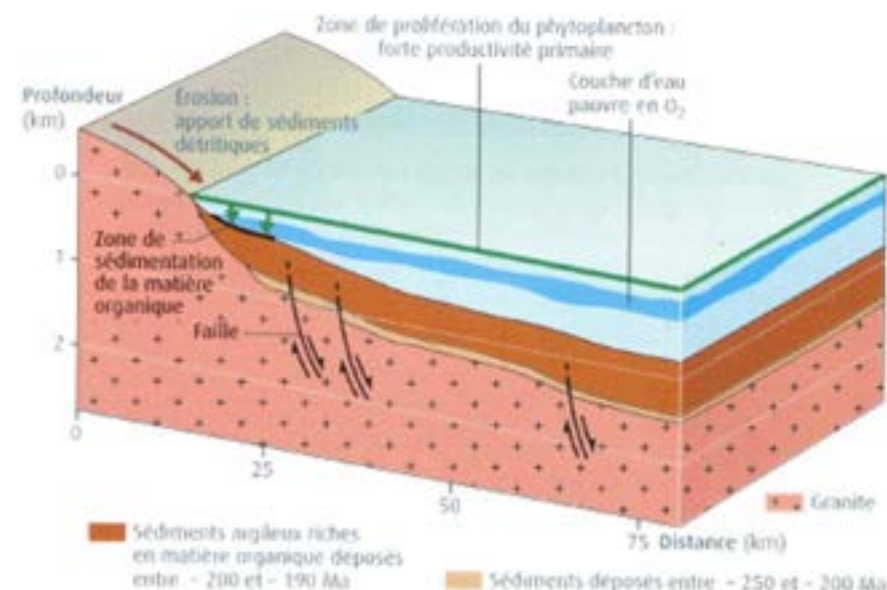
Pour bien comprendre ce qu'on va voir

Le Bassin Aquitain

- Genèse du bassin Aquitain



⇒ **Subsidence**



⇒ **Accumulation de sédiments**

TECTONIQUE DIVERGENTE

Pour bien comprendre ce qu'on va voir

Le Bassin Aquitain

- Les temps géologiques

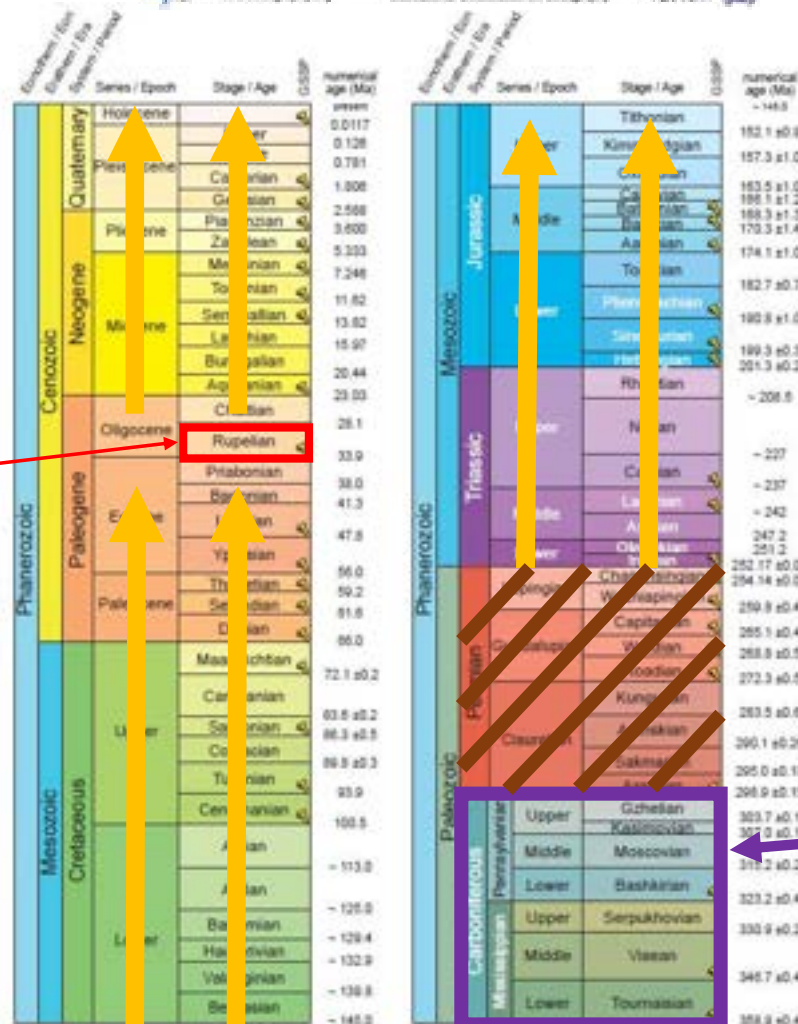
Poursuite de l'accumulation
sédimentaire jusqu'à aujourd'hui

Côte de la Ruasse :

**Formation du
calcaire à astéries**
*Oligocène inférieur
(= Rupélien)*

Entre -34 et -28 millions d'années

INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART
www.stratigraphy.org International Commission on Stratigraphy 2013



220 millions d'années
d'histoire du
remplissage
sédimentaire jusqu'à
l'Oligocène

Erosion
et
1^{ers} dépôts détritiques
continentaux
(bassin de Brive)

Chaine hercynienne

Pour bien comprendre ce qu'on va voir

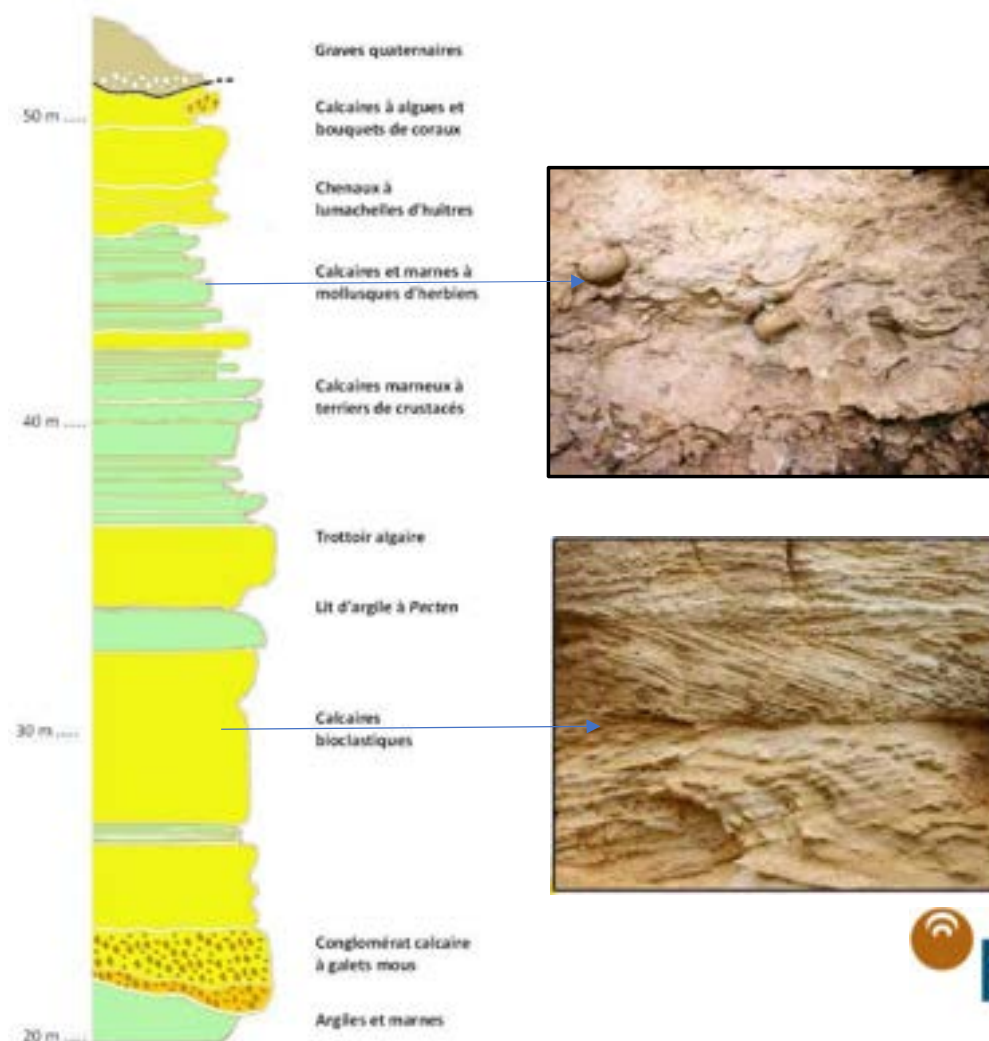
La Formation du calcaire à astéries

- L'Oligocène inférieur marin de l'Aquitaine



BRGM — SER

Paléogéographie de l'Aquitaine au Stampien





LES CARAÏBES EN AQUITAINE IL Y A 30 MILLIONS D'ANNÉES

LA CÔTE DE LA RUASSE



En un même lieu, les paysages ont changé au cours du temps. Les fossiles et structures des roches sédimentaires permettant de les reconstituer : ils correspondent à des environnements marins sous climat chaud. Leur succession s'est enregistrée verticalement, dans l'ordre chronologique.

In a given place, landscapes have changed over time. Fossils and deposit structures help to reconstitute them: they correspond to marine environments in warm climate. Their succession is recorded vertically, in chronological order.



Croquis géologique des dépôts sédimentaires observés le long de la côte de la Ruasse.
Geological section of the sedimentary deposits visible along the coast of the Ruasse way.



Paléogéographie de l'Aquitaine il y a 30 millions d'années.
Paleogeography of Aquitaine 30 million years ago.

Mollusques (bivalves) et gastéropodes (snails) de prairies sous-marines.
Mollusks (bivalves) and gastropods of sub-marine meadows.



Colonie de coraux d'environnement calme.
Low energy coral colony.



3



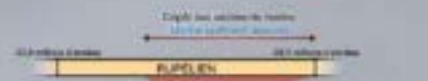
1

Stratifications obliques dues au déplacement de dunes sous-marines.
Cross bedding induced by marine sand dunes movement.

Enrochements d'algues calcaires et oursins.
Gravel made of calcareous algae and sea urchins.



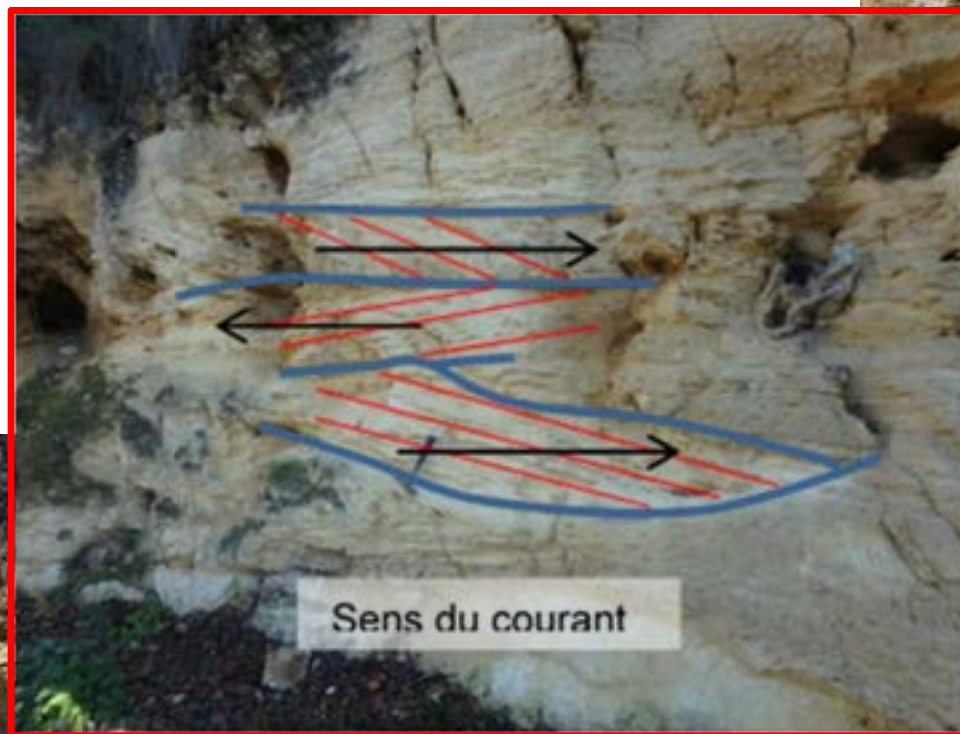
2



Pour bien comprendre ce qu'on va voir

La cote de la Ruasse

- Les affleurements



Pour bien comprendre ce qu'on va voir

La cote de la Ruasse

- Les affleurements



Cavité karstique visible dans le calcaire à astéries

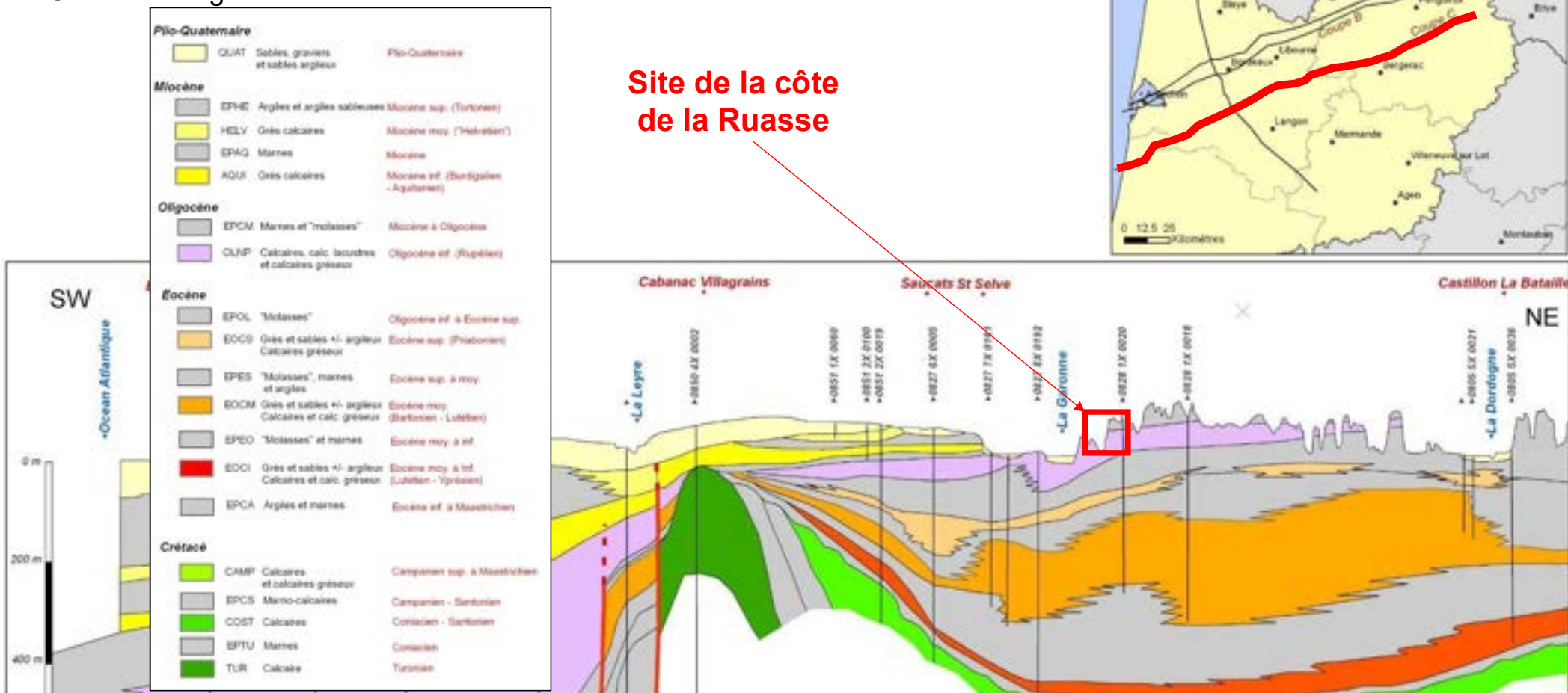


Entrées creusées pour l'exploitation du calcaire à astérie (pierre de taille)

Pour bien comprendre ce qu'on va voir

L'aquifère de l'Oligocène

- Géométrie régionale



SIGES

Le SIGES Aquitaine vous invite à parcourir l'Atlas des parcours hydrogéologiques

Découvrez les richesses naturelles de l'Aquitaine et recherchez les témoins de l'activité des eaux souterraines



Le parcours 14 valorise les panneaux mis en place par la Réserve Naturelle géologique de Saucats-La Brède et le Conservatoire géologique de Langoiran.

Les coordonnées GPS, des explications scientifiques et des fiches de terrain sont à votre disposition pour découvrir les faluns du Miocène ou les astéries de l'Oligocène !



Pour en savoir plus :

SIGES Aquitaine :
<http://sigesaqi.brgm.fr>

BRGM – Direction Régionale
Nouvelle Aquitaine
Délégation de Bordeaux

Parc Technologique Europarc
24, avenue Léonard de Vinci
33600 Pessac

Réserve Géologique de Saucats
17 Chemin de l'Église
33650 Saucats

Conservatoire Géologique de Langoiran
<http://asteria.free.fr>





SORTIE TERRAIN – GÉOLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE

Monitoring rivière : la Pimpine

Visite géologique de la côte de la Ruasse à Langoiran

Olivier Douez et Pierre Bourbon
20/10/2022



L'Atlas des zones à enjeux aval du SAGE des Nappes profondes de Gironde

Département de la Gironde
10^e journée des eaux souterraines - Cénac



1998 - 2003 : élaboration de la 1^{ère} version du SAGE Nappes profondes de Gironde

En l'absence de d'éléments de référence, le SAGE précise les points à examiner pour juger de la durabilité de la gestion des nappes profondes :

- ✓ bilans à grande échelle (entrées = sorties +/- Δ réserves)
-> gestion en volume
- ✓ niveaux d'eau localement -> gestion en pression



2003

Les orientations de gestion du SAGE Nappes profondes - version 2003

Le SAGE :

- ✓ à grande échelle sur tout son périmètre :
 - subdivise le territoire en 5 zones
 - définit des unités de gestion (UG) = croisement nappe et zone
 - arrête un volume maximum prélevable pour chaque UG
- ✓ à l'échelle locale :
 - identifie des risques
 - peut fixer des règles de gestion en niveaux pour se prémunir de ces risques



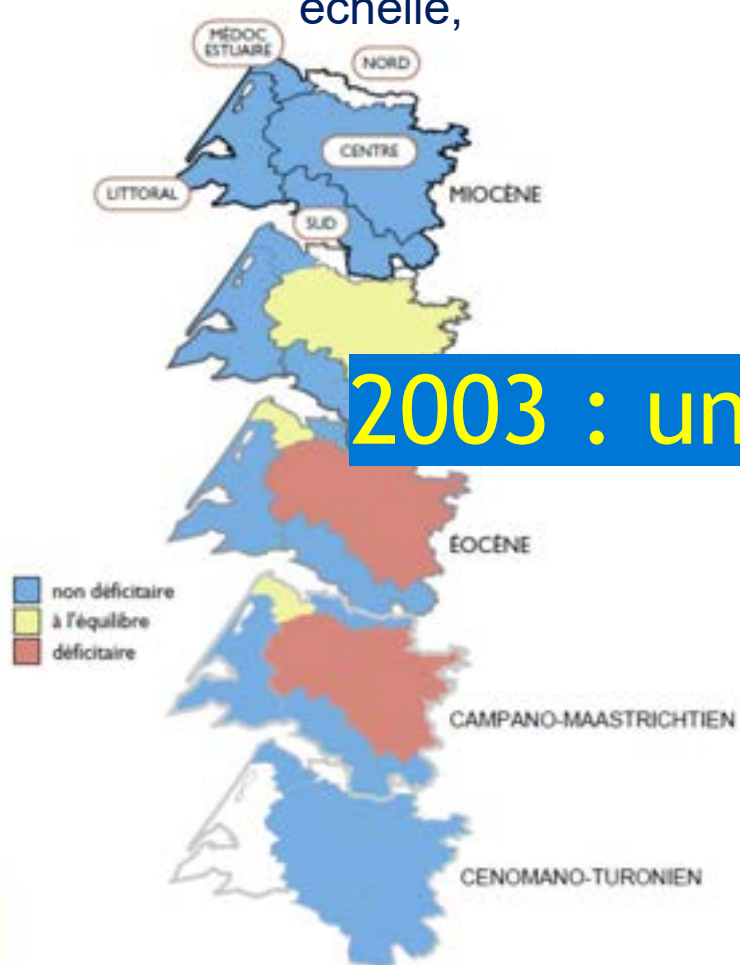
2003

-> Elaboration d'un Atlas des zones à risques

Les constats du SAGE Nappes profondes

Des bilans déséquilibrés à grande
échelle,

des risques locaux



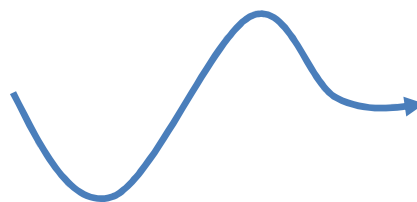
2003 : un SAGE défensif



2008-2013 : révision du SAGE Nappes profondes de Gironde



2003



2013



En l'absence de définition du bon état des eaux souterraines (et a fortiori pour les nappes captives à grande inertie) le SAGE arrête sa définition du bon état (avis de la CLE du 11 juillet 2011) qui combine toujours :

- une approche globale en bilan,
- des approches locales en pression.

Rien de neuf !

Définition du bon état

11 juillet 2011

Une nappe captive est en bon état quantitatif lorsque à la fois :

- la diminution de la réserve que peut faire apparaître le calcul des bilans annuels à moyen et long termes (plusieurs décennies a minima) ne remet pas en cause la pérennité de la ressource ;
- les niveaux piézométriques sur les zones à enjeux identifiés permettent de garantir :
 - ✓ l'absence de dénoyage permanent et étendu du réservoir ;
 - ✓ des directions et sens d'écoulement interdisant l'entrée d'eaux parasites ;
 - ✓ des débits sortants au profit des milieux avals suffisants pour ne pas empêcher l'atteinte ou le maintien du bon état pour ces milieux.

2003 : une approche plus altruiste (?)

Le SAGE Nappes profondes de Gironde version 2013

Le SAGE :

- ✓ à grande échelle sur tout son périmètre :
 - subdivise le territoire en 5 zones
 - définit des unités de gestion (UG) = croisement nappe et zone
 - arrête un volume maximum prélevable pour chaque UG
- ✓ à l'échelle locale :
 - identifie des risques **et des enjeux aval**
 - peut fixer des règles de gestion en niveaux pour se prémunir de ces risques **et garantir ces enjeux**



-> **Elaboration d'un Atlas des zones à enjeux aval**

Vous avez dit "enjeux aval" ?

Par "enjeu" il faut entendre :

- ✓ un milieu naturel : cours d'eau, plan d'eau, zone humide, biotope...
- ✓ un usage : eau potable, tourisme, industrie, agriculture...

Par "aval" il faut entendre :

- ✓ un milieu ou un usage qui reçoit un flux d'eau qui sort naturellement des nappes profondes.

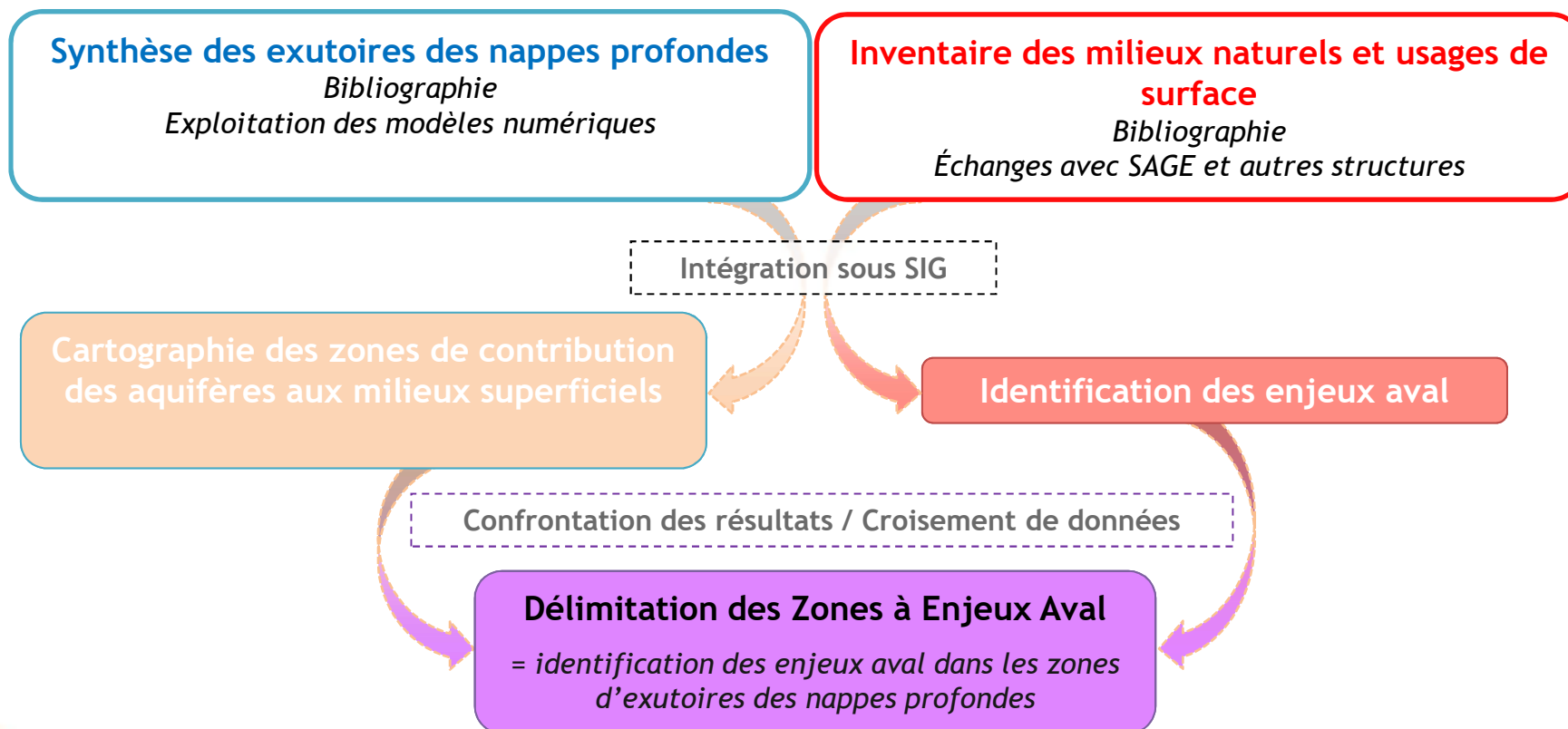
⇒ il faut être en capacité d'identifier les sorties d'eau des nappes profondes vers la surface et les enjeux qui peuvent y être liés

Partenariat avec le BRGM depuis 2014

4 phases d'études pour un montant HT de 291 940 €

Identification des zones à enjeux aval

Méthodologie



Sorties avérées ou supposées connues :

- Synthèse des connaissances sur les exutoires directs ou indirects des nappes du périmètre du SAGE Nappes profondes de Gironde (Crétacé à Miocène) : sources, zones d'affleurement des réservoirs, zones de sub-affleurement...

Sorties potentielles :

- Identification des "drainances ascendantes" dans les modèles (transfert d'eau ascendant entre réservoirs).

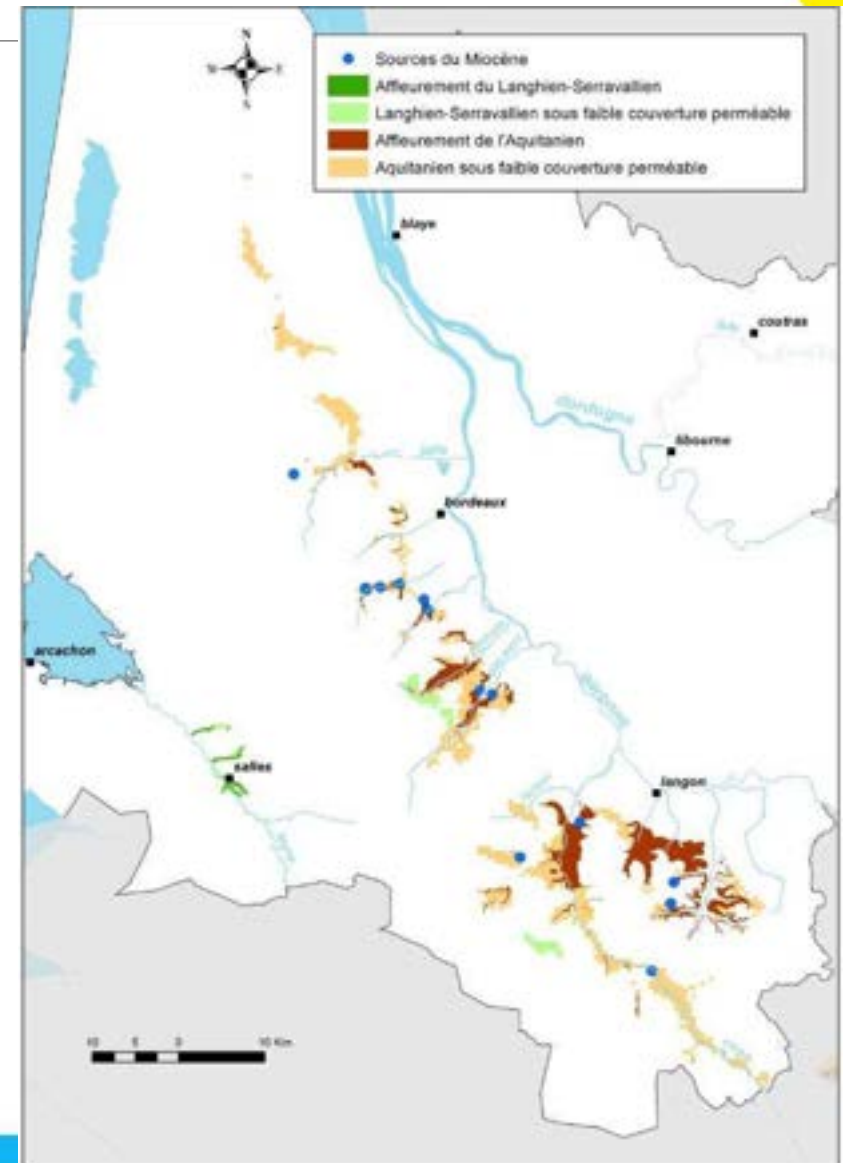
Exemple des exutoires du Miocène (Langhien-Serravallien et Aquitanien)

Sorties avérées ou supposées connues :

- drainage par les cours d'eau de la Leyre et des affluents en rive gauche de la Garonne
- 14 sources recensées

Sorties potentielles (via le Plio-quaternaire en aquifère relai) :

- littoral atlantique
- Bassin d'Arcachon
- vallée de la Leyre
- principaux affluents de la rive gauche de la Garonne (notamment le Ciron)



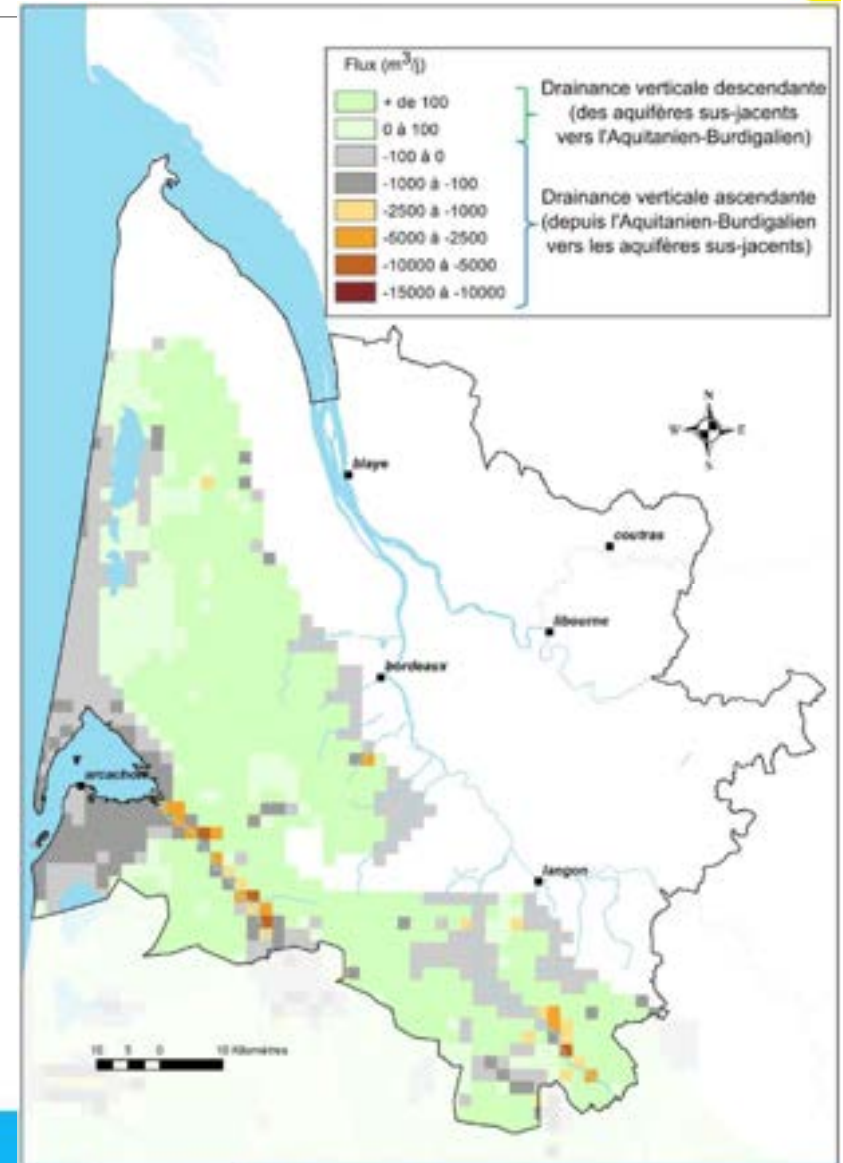
Exemple des exutoires du Miocène (Langhien-Serravallien et Aquitanien)

Sorties avérées ou supposées connues :

- drainage par les cours d'eau de la Leyre et des affluents en rive gauche de la Garonne
- 14 sources recensées

Sorties potentielles (via le Plio-quadernaire en aquifère relai) :

- littoral atlantique
- Bassin d'Arcachon
- vallée de la Leyre
- principaux affluents de la rive gauche de la Garonne (notamment le Ciron)



En synthèse de l'approche "sorties"

Synthèse des exutoires des nappes profondes

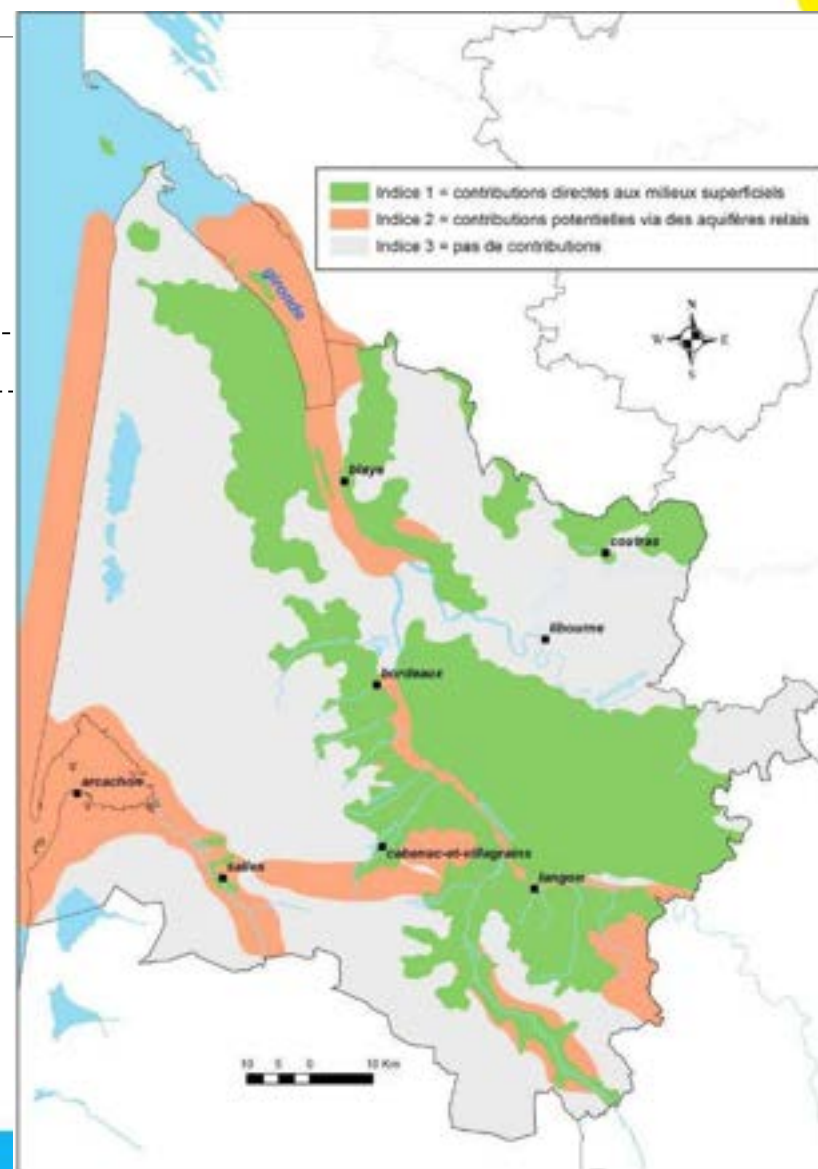
Bibliographie

Exploitation des modèles numériques

Intégration sous SIG

Cartographie des zones de contribution
des aquifères aux milieux superficiels

- Sorties directes des nappes profondes
- Sorties indirectes via aquifère "relai"
- Pas de sortie



Identification des enjeux aval

Enjeux patrimoine naturel

Données sur les milieux naturels et usages en Gironde :

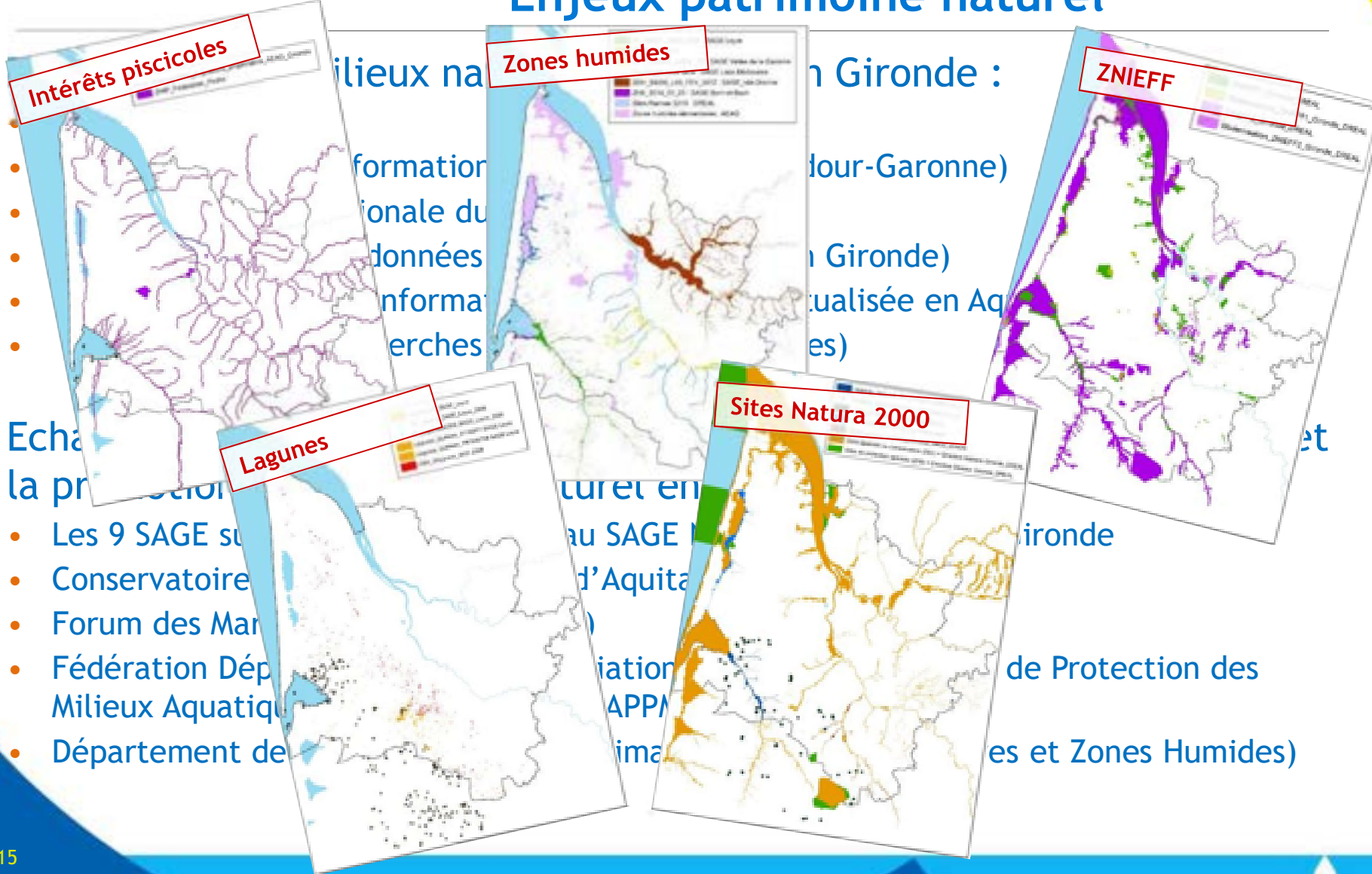
- DREAL Aquitaine
- SIEAG (Système d'Information sur l'Eau du Bassin Adour-Garonne)
- INPN (Inventaire Nationale du Patrimoine Naturel)
- Nature 33.fr (Portail données de l'environnement en Gironde)
- PIGMA (Plateforme d'Information Géographique Mutualisée en Aquitaine)
- BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières)

Echanges avec les organismes contribuant à la gestion, la préservation et la promotion du patrimoine naturel en Gironde :

- Les 9 SAGE superficiels superposés au SAGE Nappes profondes de Gironde
- Conservatoire des Espaces Naturels d'Aquitaine (C.E.N.)
- Forum des Marais Atlantiques (F.M.A.)
- Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques de la Gironde (FDAAPPMA 33)
- Département de la Gironde (Cellule Animation Territoriale Rivières et Zones Humides)

Identification des enjeux aval

Enjeux patrimoine naturel



Interêts piscicoles

Zones humides

ZNIEFF

Sites Natura 2000

Lagunes

-
-
-
-
-
-

Echa
la pr

- Les 9 SAGE su
- Conservatoire
- Forum des Mar
- Fédération Dép
- Milieux Aquatiqu
- Département de

turet en
au SAGE
d'Aquita
)
iation
APPA
ima

ironde

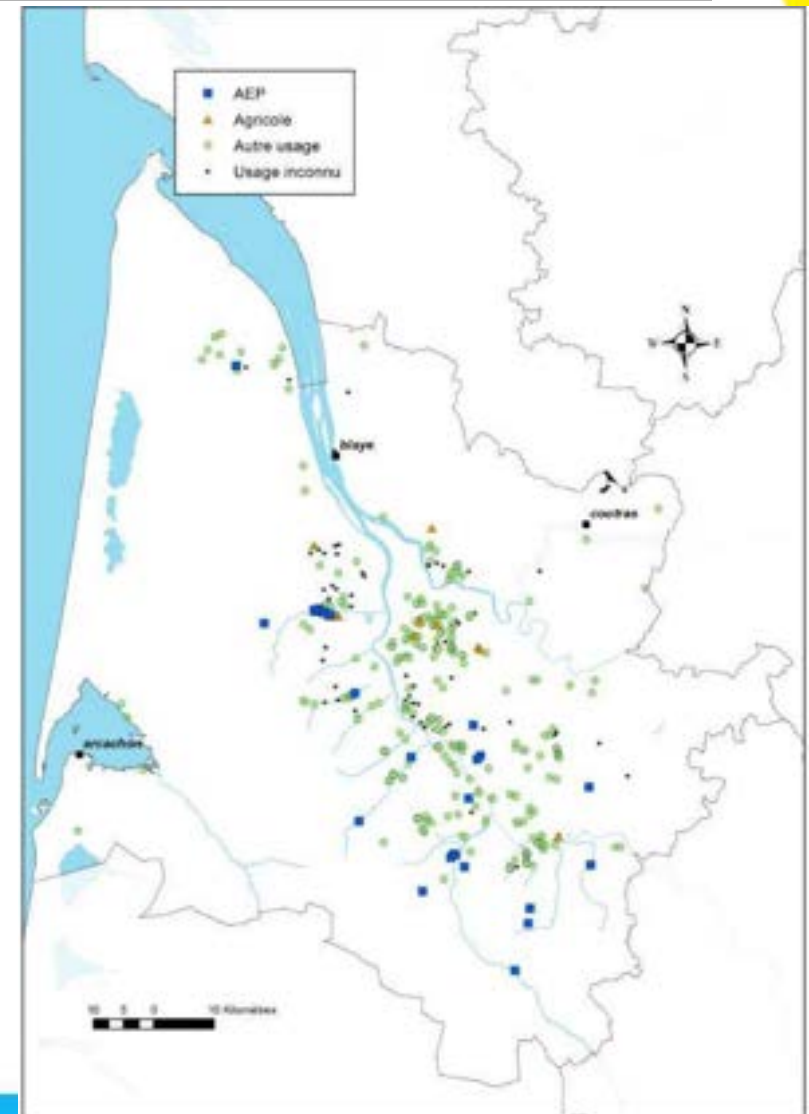
de Protection des
es et Zones Humides)

Identification des enjeux aval

Enjeux usages

Sources :

- 26 sources pour l'AEP
= 17 Mm³ en 2012 (près de 15 %)
- 14 sources pour l'agriculture
= moins de 1 Mm³ en 2012 (< 1%)
(volumes agricoles sont difficiles à obtenir)
- 96 sources (24 %) n'ont pas d'usage identifié (si usage il y a)



Identification des zones enjeux aval potentielles

Synthèse des exutoires des nappes profondes

Bibliographie

Exploitation des modèles numériques

**Inventaire des milieux naturels et usages de
surface**

Bibliographie

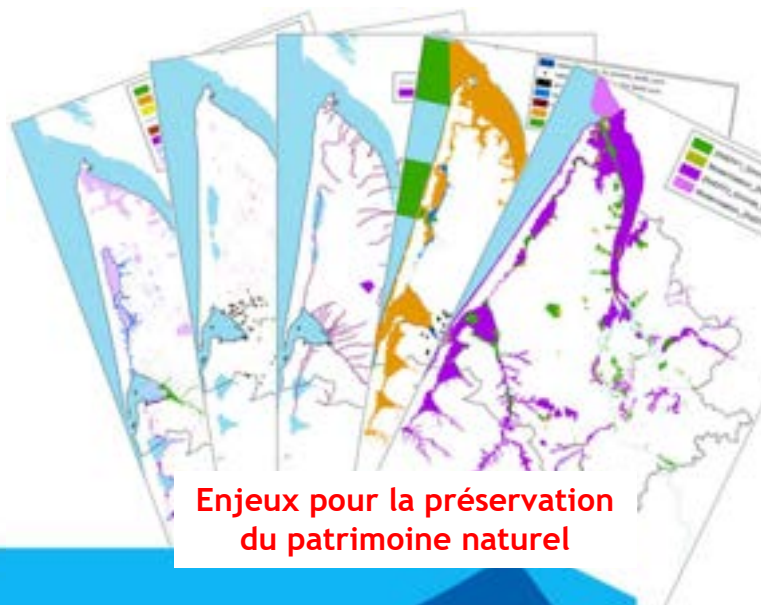
Échanges avec SAGE et autres structures

Intégration sous SIG

**Cartographie des zones de contribution
des aquifères aux milieux superficiels**

Identification des enjeux aval

Zonage des flux



**Enjeux pour la préservation
du patrimoine naturel**

Enjeux d'usage

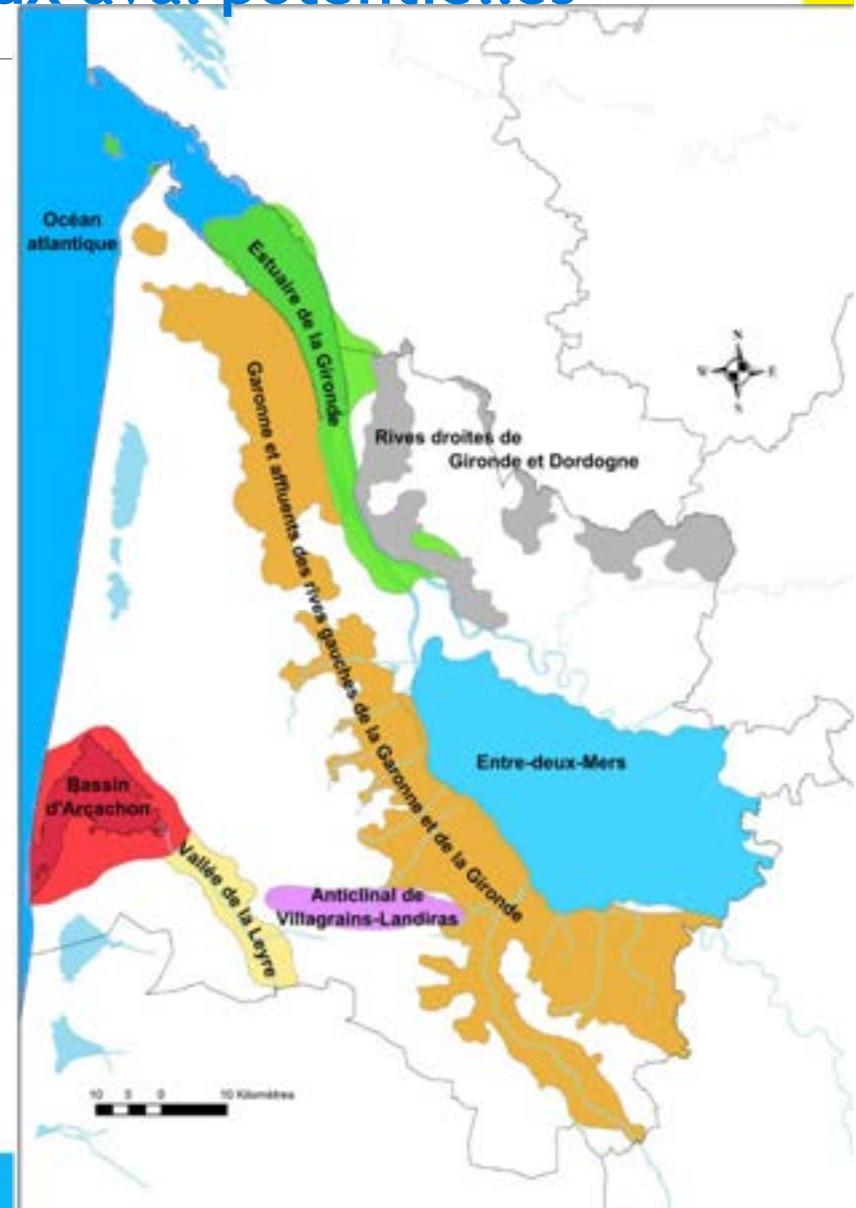


Identification des zones enjeux aval potentielles

Identification de 8 secteurs dans lesquels les nappes profondes peuvent potentiellement contribuer au milieu superficiel.

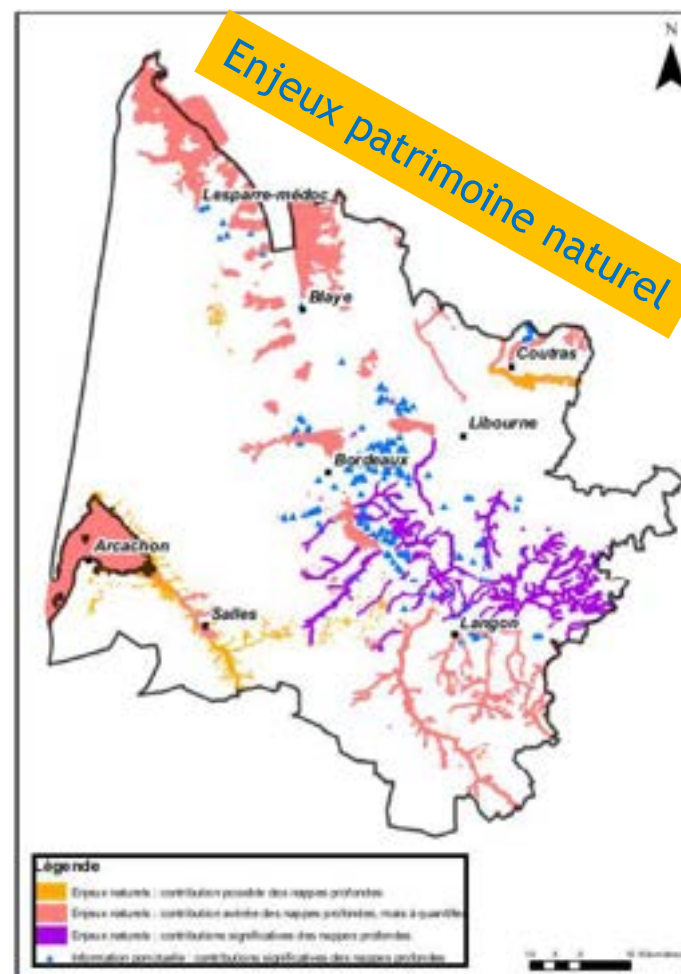
Pour chaque secteur, échanges avec les "gestionnaires" du territoire (SAGE) :

- mise en ligne des documents sur un site dédié,
- réunions de travail, concertation, pour confirmer, infirmer, compléter les différents enjeux potentiels répertoriés.



Identification des zones enjeux aval potentielles

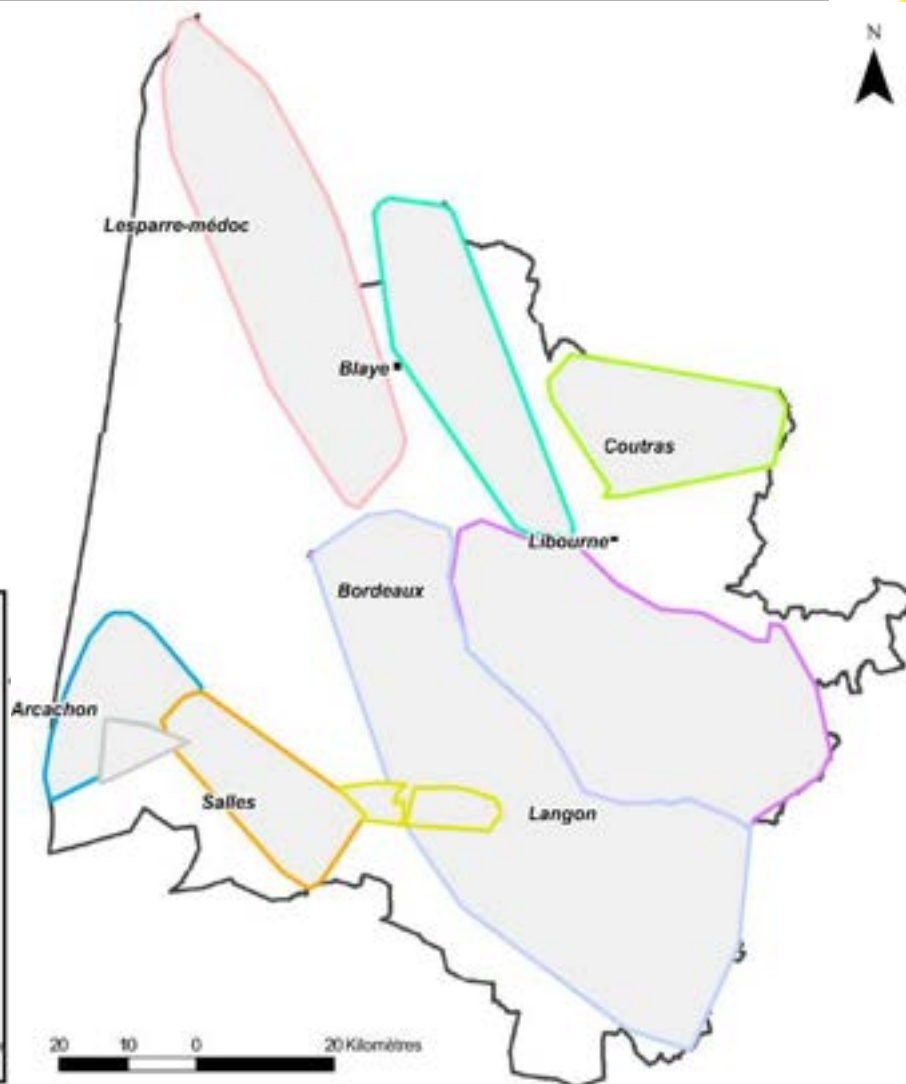
Traitement des données et hiérarchisation



Première version de l'Atlas des zones à enjeux aval

Première version de l'Atlas :

- quatre secteurs majeurs identifiés :
 - Bassin d'Arcachon et cours d'eau côtiers, Sud du Bassin d'Arcachon, Villagrains-Landiras :
 - Rive gauche de Garonne
 - Entre-Deux-Mers
 - Leyre, Rive gauche de Gironde, rives droites de Gironde et Dordogne aval, Isle et affluents
- ne permet pas de statuer sur la nécessité d'instaurer des règles de gestion des NP



Première version de l'Atlas des zones à enjeux aval

Point sur les 4 secteurs majeurs identifiés :

1. *Bassin d'Arcachon et cours d'eau côtiers, Sud du Bassin d'Arcachon, Villagrains-Landiras* : verrous de connaissance globale, liens restant à confirmer et quantifier pour évaluer les enjeux
2. *Rive gauche de Garonne* : liens avérés, impacts significatifs, enjeux axés sur les cours d'eau
3. *Entre-Deux-Mers* : liens avérés mais pas d'enjeux de gestion identifiés
4. *Leyre, Rive gauche de Gironde, rives droites de Gironde et Dordogne aval, Isle et affluents* : liens avérés mais enjeux de gestion incertains

-> à suivre...

