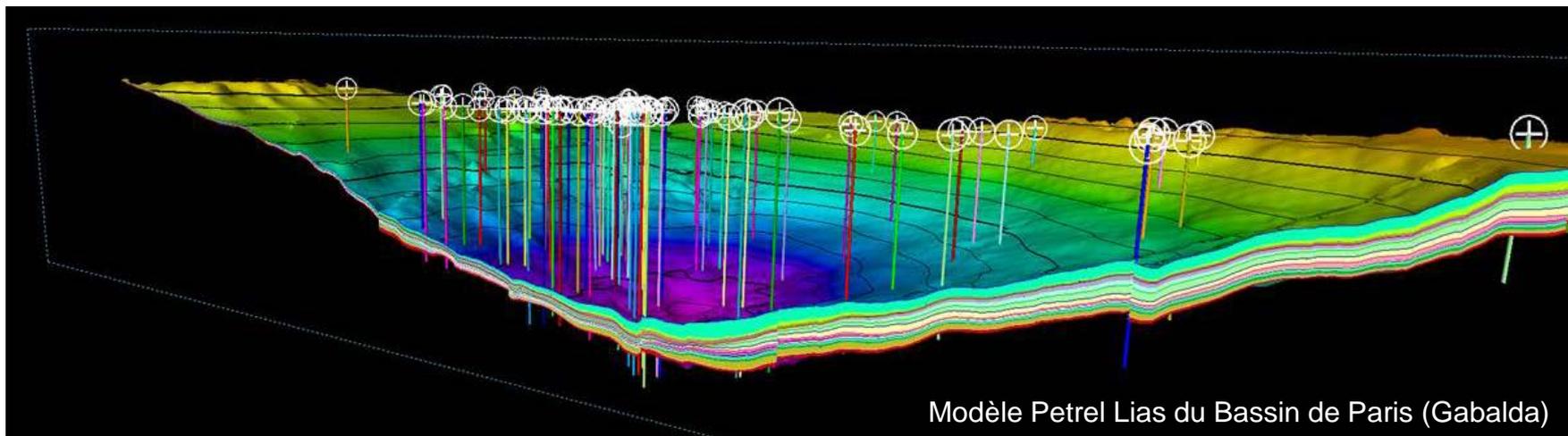


PRÉDICTION DES RÉSERVOIRS

PROJET EXPLORATOIRE « PRÉDICTION DES RÉSERVOIRS »

- **Les réservoirs : un enjeu clé pour le BRGM**

- **Nombreuses applications:** ressource en eau, géothermie, stockage de CO₂ ou d'énergie, ressources minérales



BRGM : production de modèles déterministes

- géométriquement très exacts si données abondantes

MAIS

- difficile de prédire des propriétés entre les points d'observation
- pas de prédiction du contenu (polluants, minéralisations, type d'argile...)
- que faire lorsque les données manquent ?

IMPORTANCE DE PROPOSER DES MODÈLES PREDICTIFS (BASÉS PROCESSUS)

PROJET EXPLORATOIRE « PRÉDICTION DES RÉSERVOIRS »

- **OBJECTIF : Comprendre les processus à l'origine des dépôts et des circulations de fluides pour pouvoir adopter une démarche prédictive**

3 questions scientifiques :

- Quelles architectures sédimentaires prédire quand les données sont insuffisantes ? (objectif commun silicoclastique/carbonate)
- L'application d'une démarche *source to sink* permet-elle de prédire la répartition des polluants naturels dans les réservoirs silicoclastiques ?
- Peut-on prédire la modification des propriétés des réservoirs carbonatés par les transformations diagénétiques précoces et tardives (circulations de fluides) ?

• **Deux types d'objets :**

Les **réservoirs silicoclastiques** (réfèrent : Eric Lasseur) et les **réservoirs carbonatés** (réfèrent : Simon Andrieu)

RÉSERVOIRS CARBONATÉS : LES ÉTAPES DE LEUR GENÈSE

PARAMÈTRES DE DEPÔT



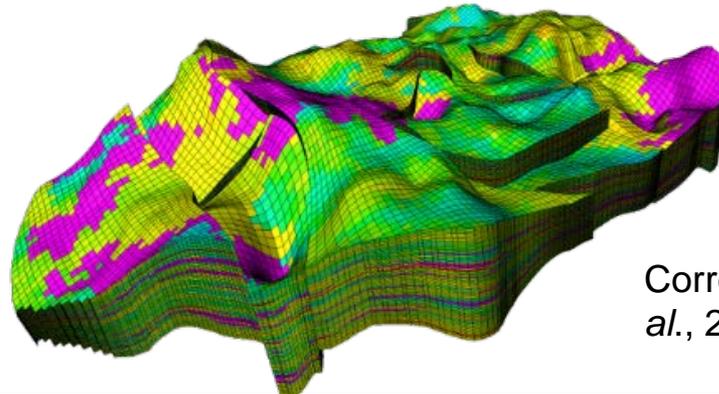
DIAGENÈSE PRÉCOCE



DIAGENÈSE TARDIVE (ENFOUISSEMENT/EXHUMATION)



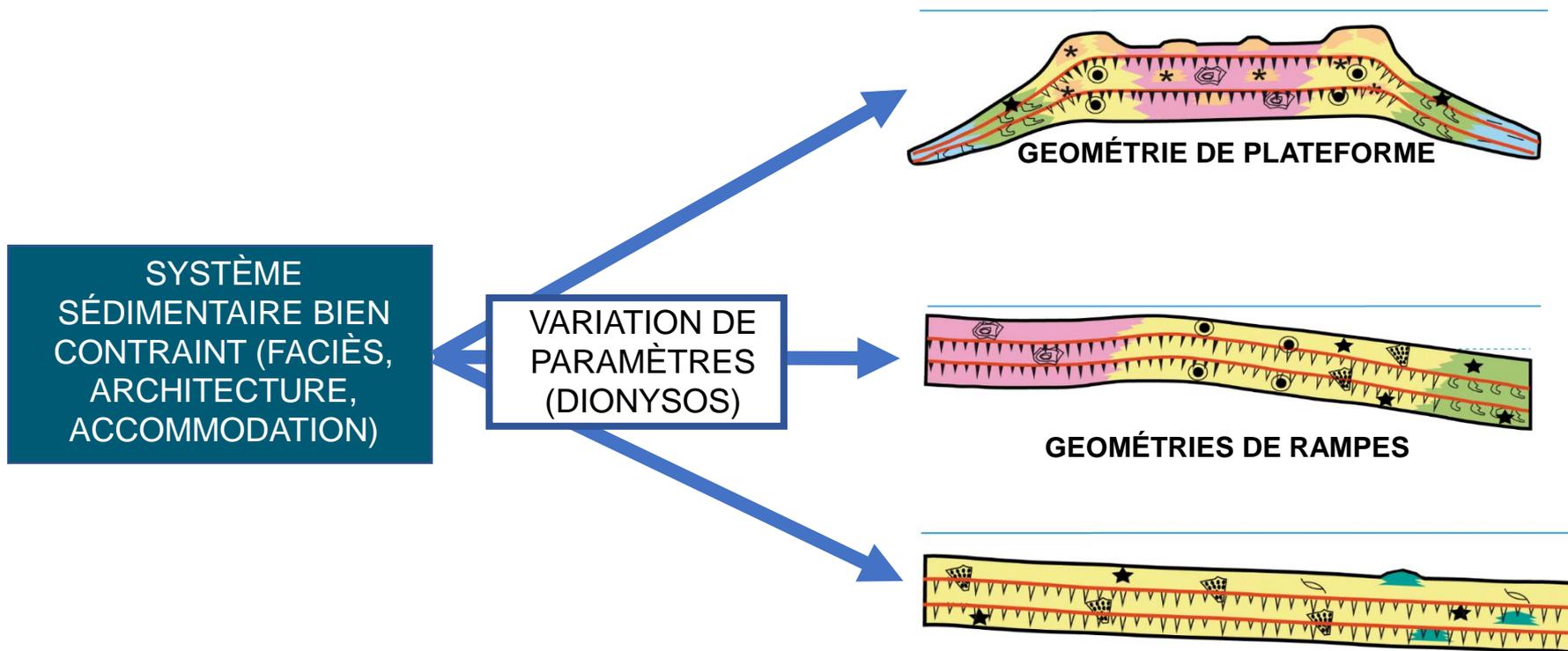
RÉSERVOIR CARBONATÉ : ÉTAT FINAL



Correia et
al., 2015

RÉSERVOIRS CARBONATÉS : LES PARAMÈTRES DE DÉPÔT

- **Problématique scientifique** : quantifier l'influence de différents paramètres (subsidence, taille de grain, type de producteur) sur la géométrie initiale des réservoirs pour adopter une démarche **prédictive**
- **Stratégie d'étude** : utilisation du logiciel DIONYSOS sur un site d'étude déjà bien caractérisé (faciès, architecture stratigraphique, environnements de dépôt) : le Jurassique de l'ouest du Bassin de Paris du nord du Bassin Aquitain (Thèses Simon Andrieu et Quentin Deloume)



- **Prises de contact externe** : Youri Hamon, Didier Granjeon (IFPEN)

RÉSERVOIRS CARBONATÉS : LES ÉTAPES DE LEUR GENÈSE

PARAMÈTRES DE DEPÔT



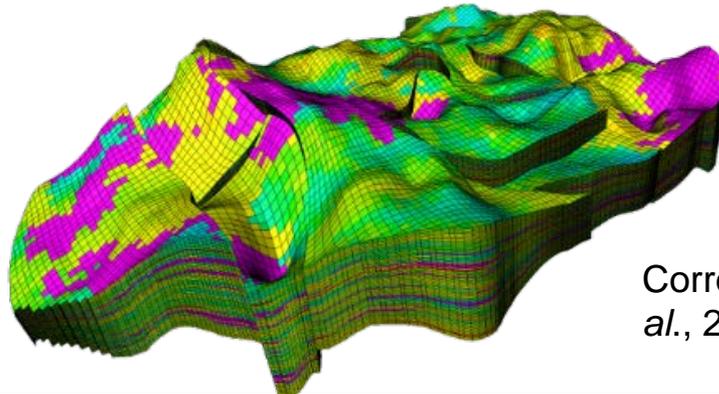
DIAGENÈSE PRÉCOCE



DIAGENÈSE TARDIVE (ENFOUISSEMENT/EXHUMATION)



RÉSERVOIR CARBONATÉ : ÉTAT FINAL



Correia et
al., 2015

RÉSERVOIRS CARBONATÉS : LA DIAGENÈSE PRÉCOCE

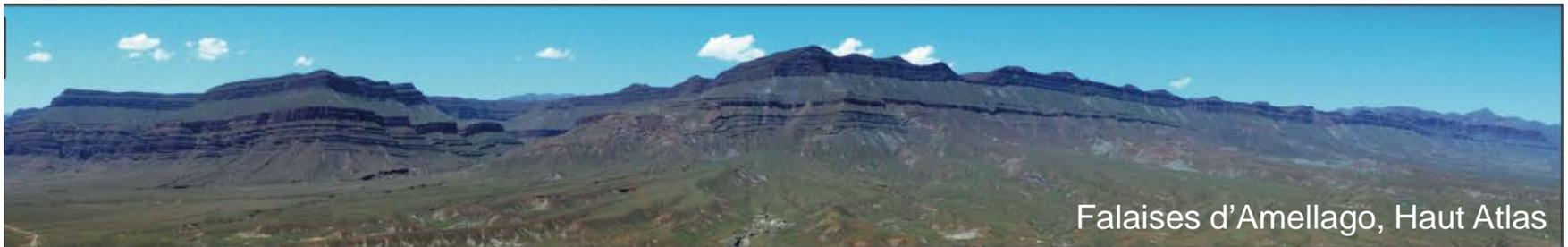
Discontinuité sédimentaire : surface clé associée à un arrêt de sédimentation

- ➔ *utilisées pour corréler forages et construire des modèles de réservoirs*
- ➔ *Propriétés de porosité et de perméabilité très variables et mal comprises*
- **Verrou scientifique** : comment une même discontinuités évolue latéralement ?

- **Stratégie d'étude**

- 1) **Des objets d'étude exceptionnels** :

- les dépôts calcaires aaléno-bajocien (~170 Ma) du Haut Atlas marocain
- le Pliensbachien du Bassin du Sud-Est



Falaises d'Amellago, Haut Atlas

→ Suivi réel des discontinuités sédimentaires sur des centaines de kilomètres

- 2) **Des méthodes analytiques à la pointe des technologies actuelles** :

→ Mesures isotopiques ($\delta^{87}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ et en $\delta^{18}\text{O}$) et datations U-Pb *in situ* des ciments précoces directement sur lame minces

- **Collaborateurs externes** : Stéphane Bodin, François-Nicolas Krencker (Université d'Aarhus)
- **Moyens déjà obtenus** :
- Financement d'un post-doctorat de 2,5 ans déjà obtenu (début en juillet 2019)
- Mobilité Carnot d'avril 2020 à fin janvier 2021

RÉSERVOIRS CARBONATÉS : LES ÉTAPES DE LEUR GENÈSE

PARAMÈTRES DE DEPÔT



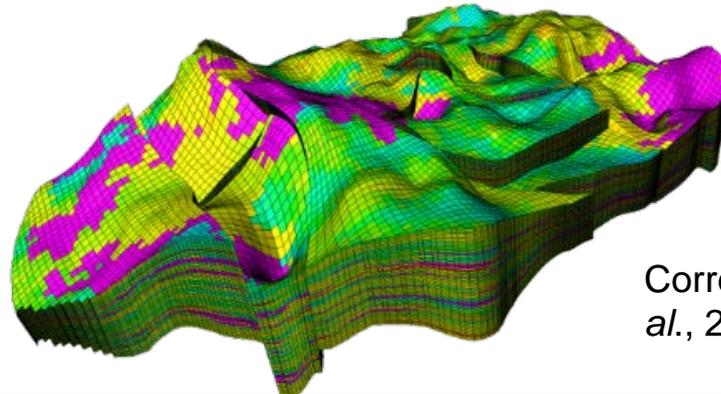
DIAGENÈSE PRÉCOCE



DIAGENÈSE TARDIVE (ENFOUISSEMENT/EXHUMATION)



RÉSERVOIR CARBONATÉ : ÉTAT FINAL



Correia et
al., 2015

RÉSERVOIRS CARBONATÉS : LA DIAGENÈSE TARDIVE

- **Problématique scientifique** : est-il possible de prédire spatialement et de quantifier l'influence des circulations de fluides tardives sur la qualité des réservoirs et le développement des minéralisations ?
- **Stratégie d'étude** :
 - Choisir parmi deux sites envisagés :
 - 1) Le **Jurassique moyen du centre du Bassin de Paris** (enjeux géothermiques, interaction avec l'ANR UPGEO) → données de forages carottés (Bobigny, Vert-Saint-Denis, Sergines) et cuttings (CGF, Geofluids)
 - 2) Le **Jurassique moyen et supérieur du nord du Bassin Aquitain** (enjeux de ressource en eau, interaction avec la thèse de Quentin Deloume) → données d'affleurements
 - Caractérisation pétrographique et minéralogique (cathodoluminescence, colorations, MEB-RAMAN)
 - Caractérisation géochimique et isotopique : utilisation de méthodes innovantes ($\Delta 47$, datations U-Pb sur calcite, analyses isotopiques et géochimiques haute résolution en $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, ETR...)



→ Interactions avec les chercheurs des laboratoires du BRGM

- **Prises de contact externes** : Thomas Blaise, Benjamin Brigaud (Université Paris-Saclay, GEOPS)



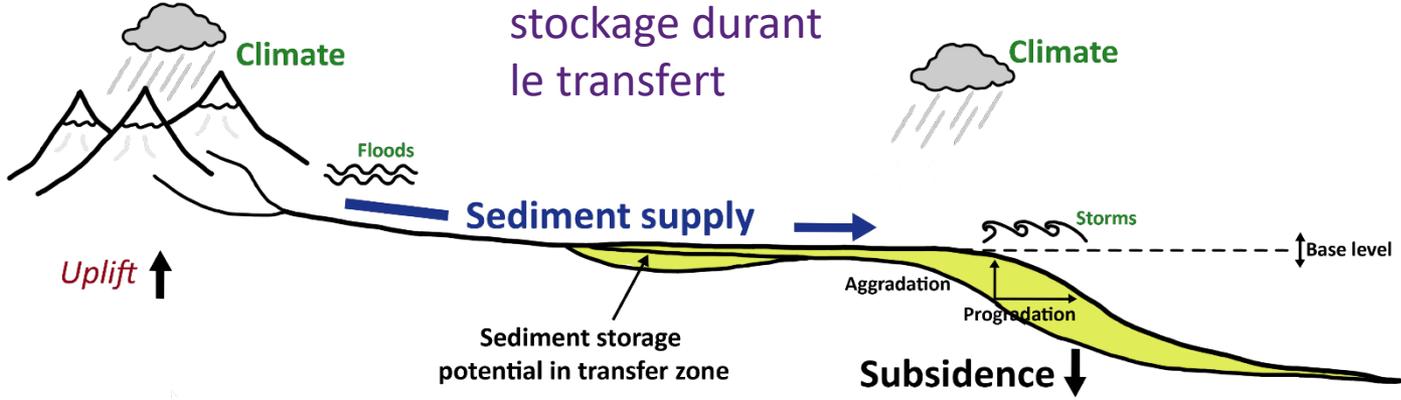
Silicoclastique :

Prédire à partir d'une compréhension améliorée des systèmes de dépôts, intégrant: érosion transfert dépôt

Erosion/alteration, minéralogie variable, (minéraux et éléments dissous)

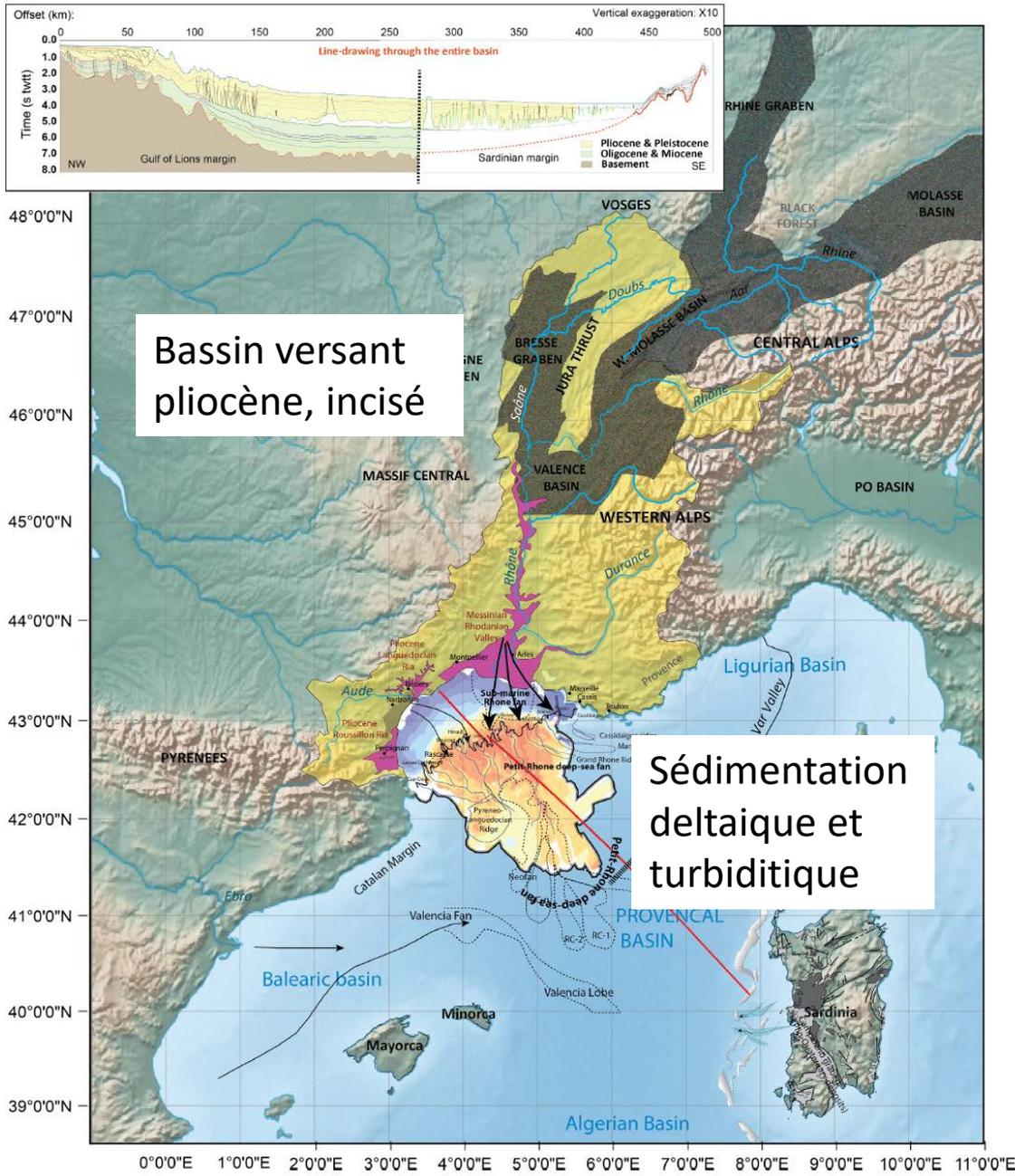
Modification et stockage durant le transfert

Dépôt influencé par les conditions du bassin (stratigraphie séquentielle) + tous les événements amont



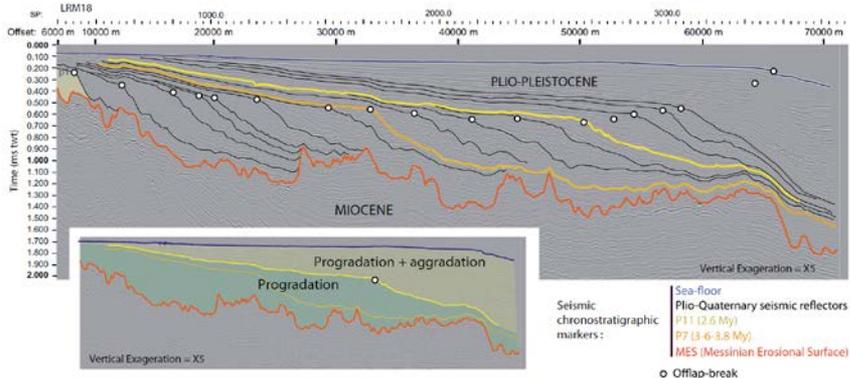
- **Architectures sédimentaires. Prediction.** Exemple Pliocène méditerranéen.
- **Minéraux et éléments dissous.** (polluants naturels, exemple du Sélénium du Bassin de Paris).

1. Architectures sédimentaires : Le remplissage plio/quaternaire périméditerranéen



Le remplissage pliocène périméditerranéen

Remplissage très bien connu en offshore.
 Système de deltas progradants



Leroux et al., 2014; 2017

Guennoc, Rabineau, Gorini, Berné, Lofi, Leroux....

Quid du système amont ?

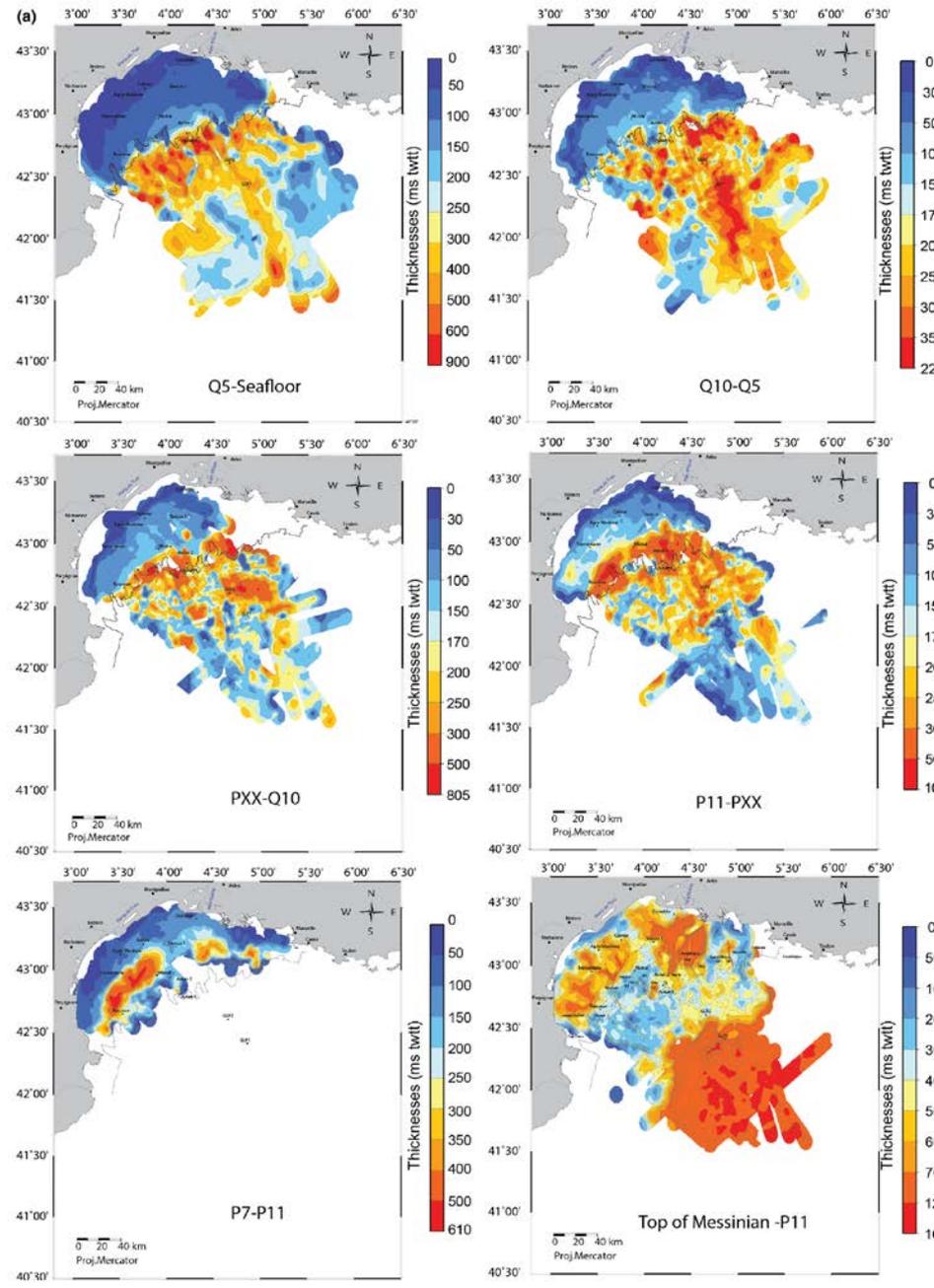


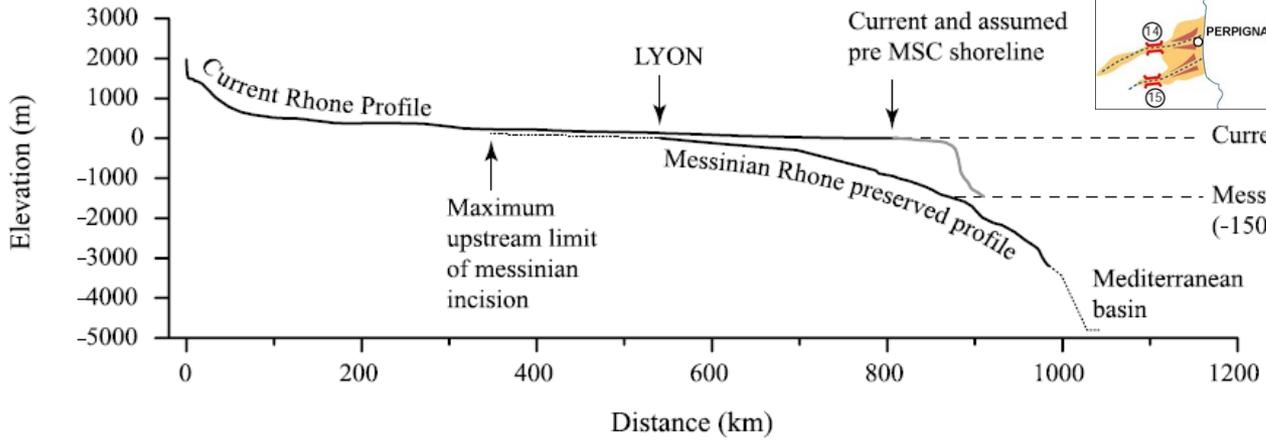
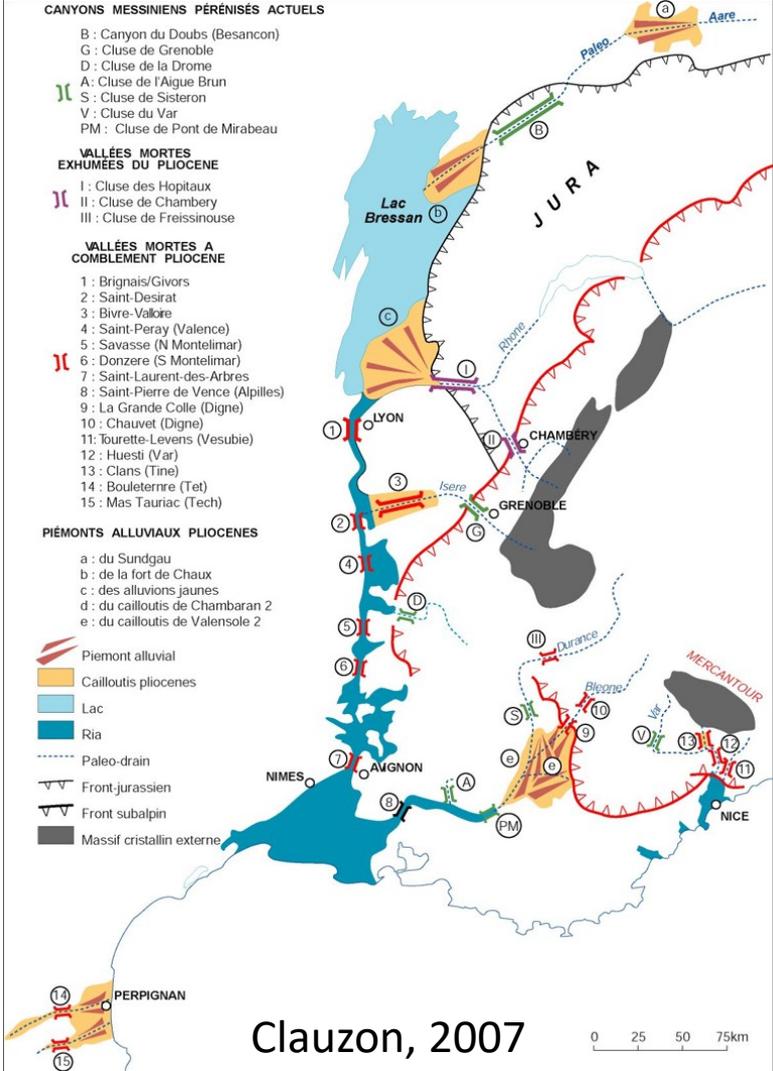
Fig. 10. (a) Isopach maps (ms twt) of individual Pliocene and Pleistocene units (see name and position of surfaces in Table 1 and seismic line Fig. 2). Present-day shelf-break (black) and locations of wells (black circles) are drawn on each map. (b) Isopach map (ms twt) of our Messinian units. The smooth surface (blue line), the present-day shelf-break (black) and the messinian fluvialite network (pink) are drawn on each map. Normal faults (salt tectonic) from Dos Reis, 2001 are superimposed to thicknesses maps of UU & ...

Le remplissage pliocène périméditerranéen

Quid du système amont ? Remplissage de l'incision.

- Géométries onshore peu imagées
- Connexion
- Biseau salé.

Difficilement déterminable faute de données suffisantes



Loget et al., 2006.

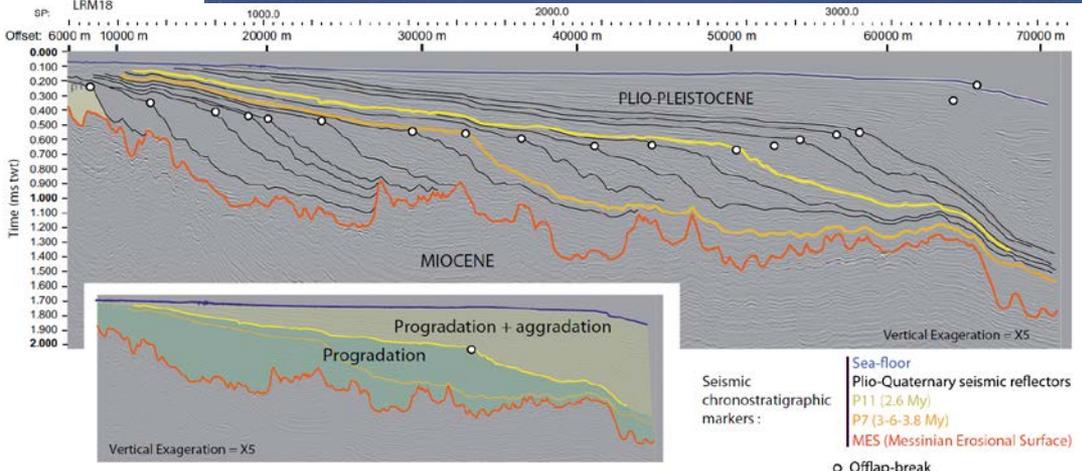
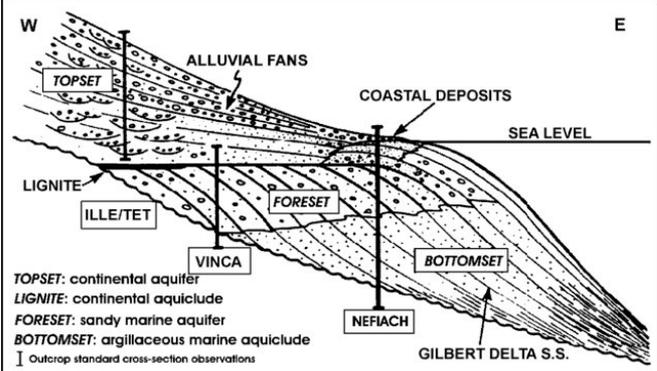
Le remplissage pliocene périméditerranéen

Quid du système amont ?

Remplissage par des systèmes progradants

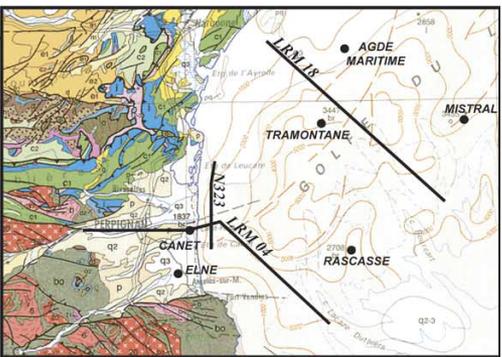
Depuis des gilbert deltas (remplissage initial)

vers des profils de deltas classiques

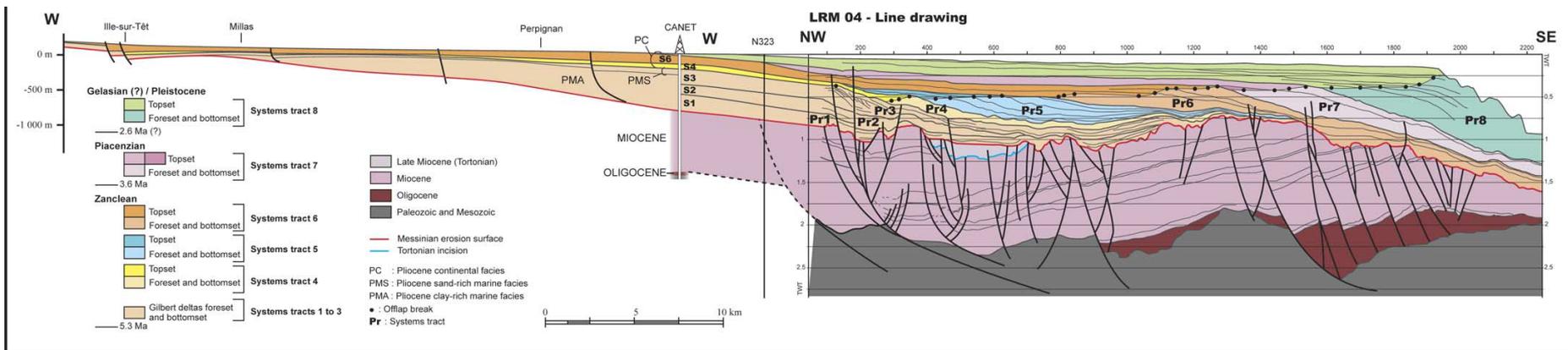


Le remplissage pliocène périméditerranéen

Approche couplée terrain modèle pour tester les volumes géométries et architectures sédimentaires



Retravaillé dans Feder Dem Eaux Roussillon, en cours.

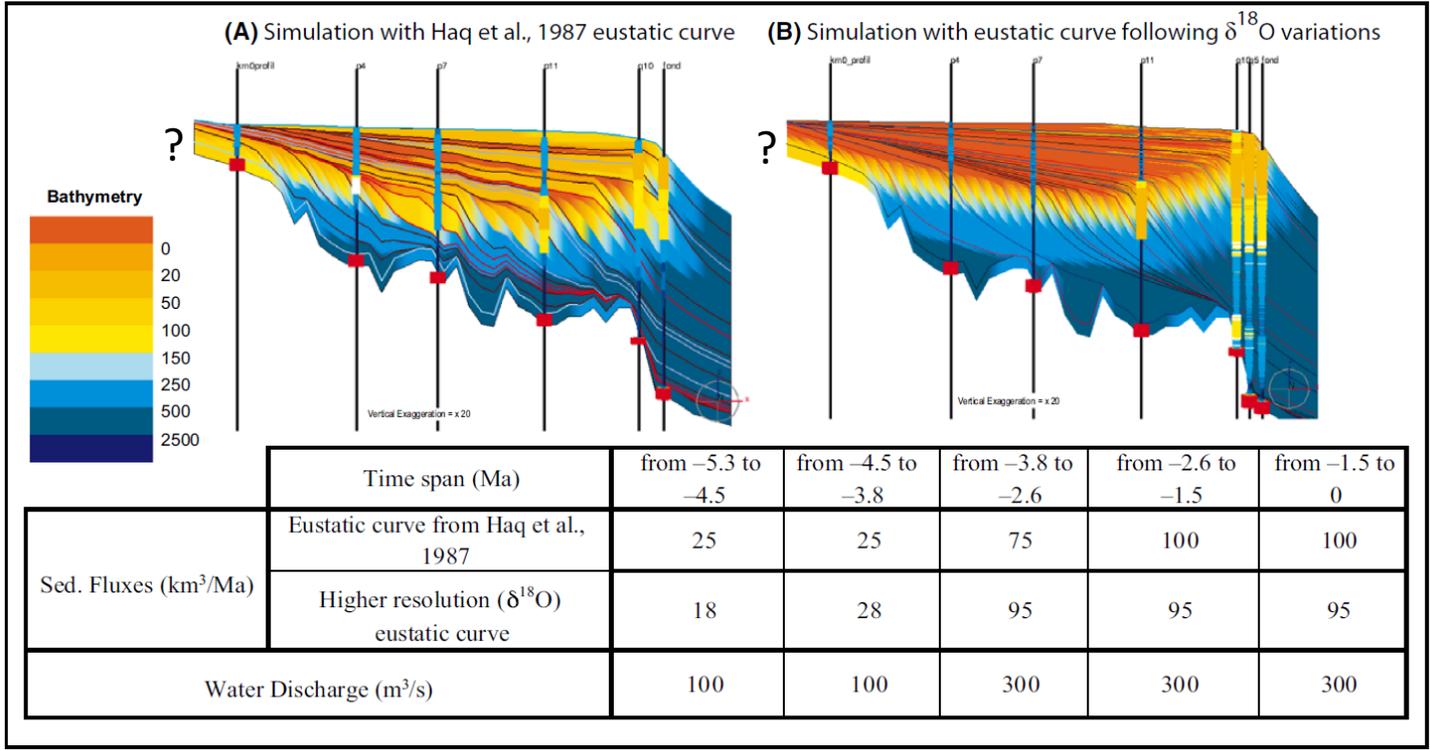


Correlation Terre mer du remplissage du Roussillon Duvail et al., 2005

Le remplissage pliocène périméditerranéen

Contraintes terrain + modélisation stratigraphiques Dionysos de l'onshore

Volumes, trappes (incision et tecto) et architectures sédimentaires



Modèle dionysos du remplissage offshore du golfe du lion. Leroux et al 2014

Collaborations envisagées. E. Leroux, M. Rabineau, S. Berné, J. Lofi, C. Duvail, D. Granjeon

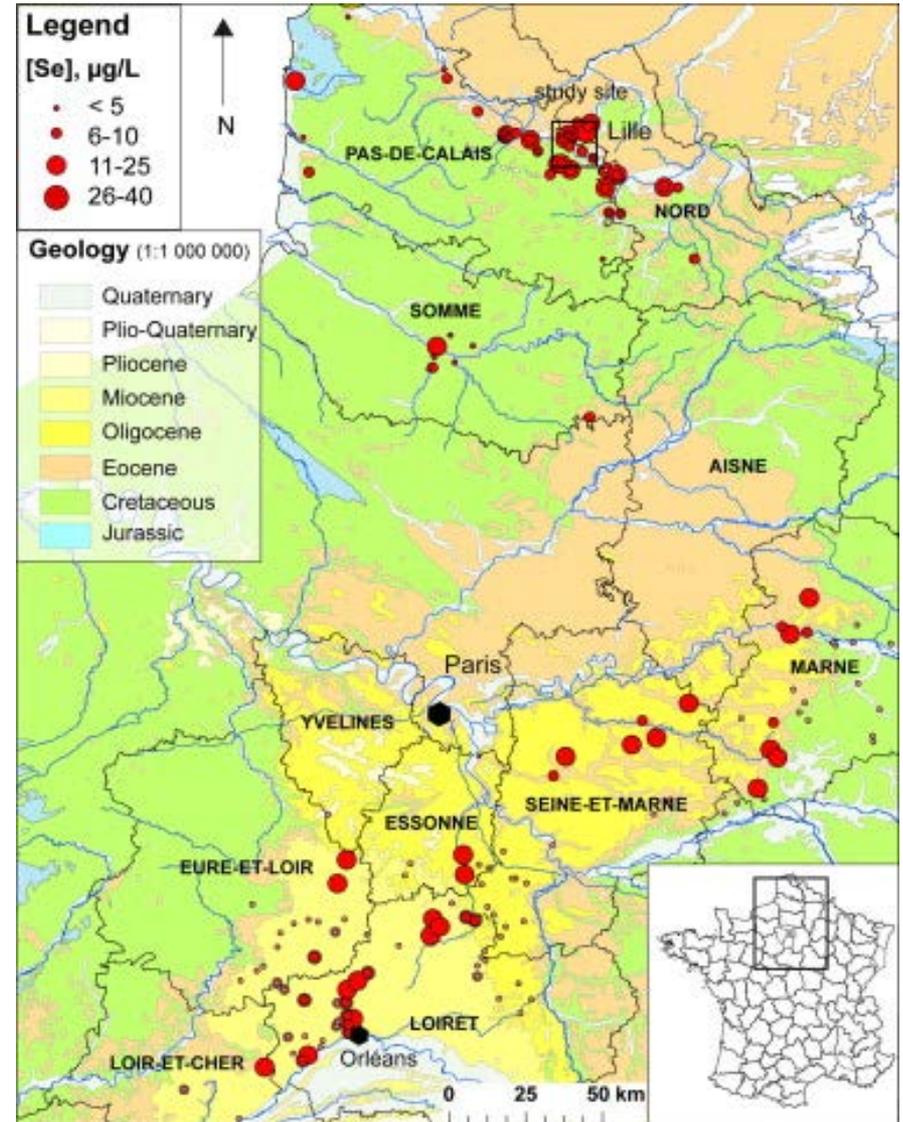
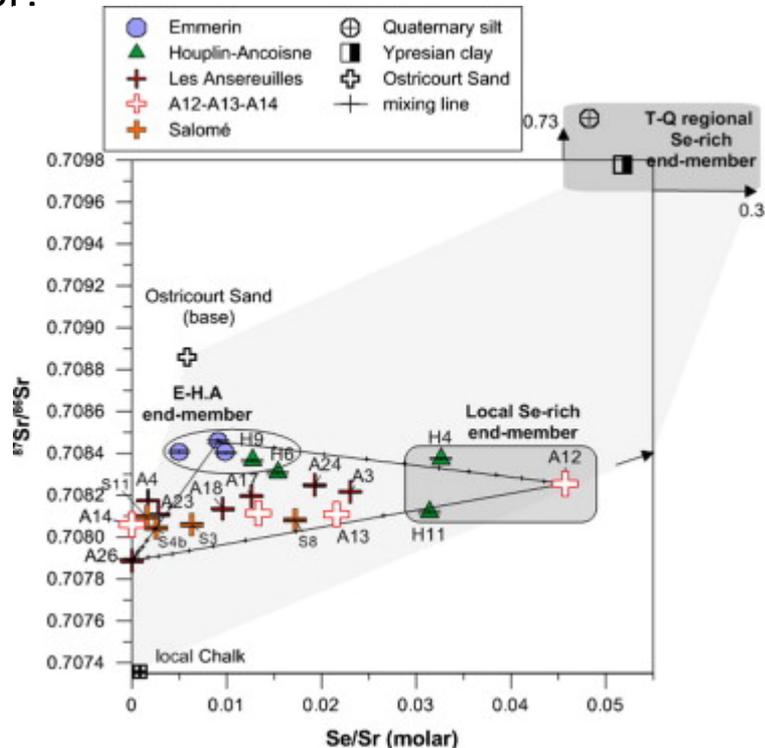
2. Prédiction de la distribution des contenus minéraux et éléments dissous : Occurrences de Sélénium dans le bassin de Paris.

Concentrations de Sélénium dans l'aquifère crayeux (Cary et al., 2014)

Un élément chalcophile, mobile en conditions oxydantes.

Concentration caractérisée dans les argiles yprésiennes, affectant l'aquifère de la Craie (Traçage Sr..., Cary et al., 2014).

Concentrations dans les aquifères tertiaire du BP.

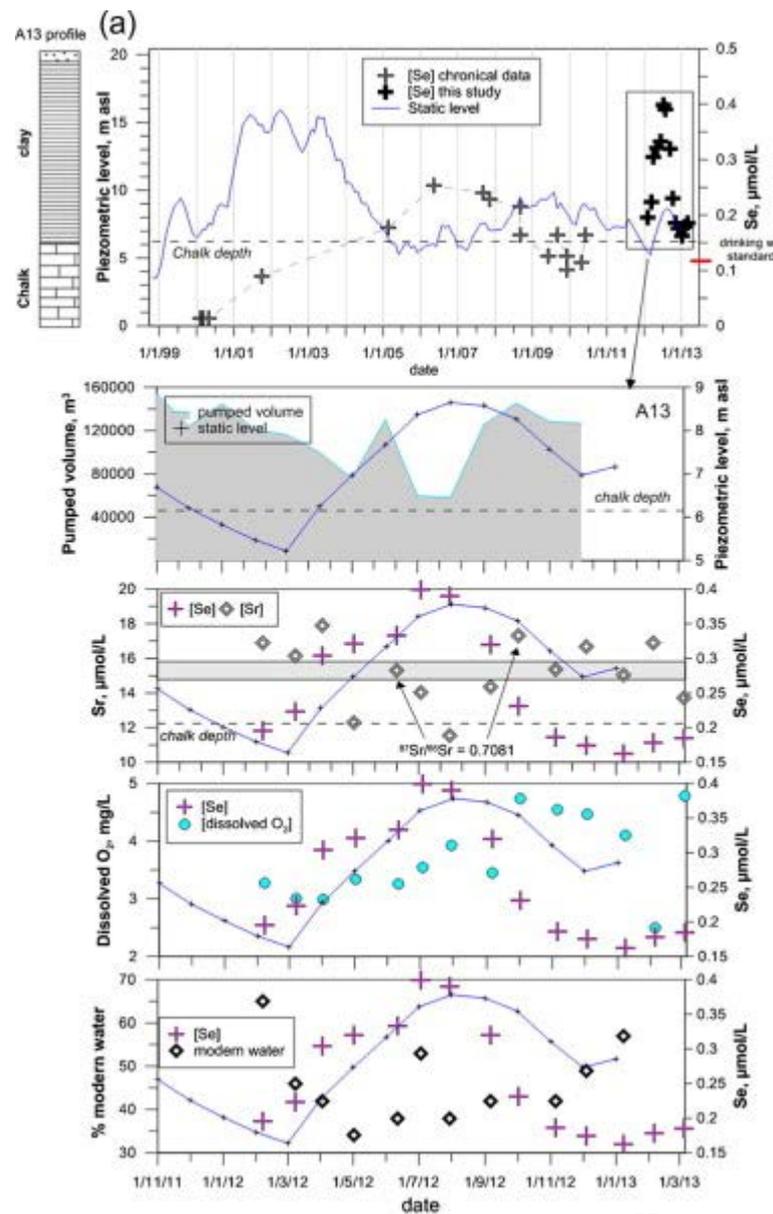


Occurrences de Sélénium dans le bassin de Paris.

Concentration dans les argiles yprésiennes et relargage lors du battement de nappes

Aboutir à un modèle hydrogéologique, identifiant la distribution 3D des concentrations en Se. Prédire les relargages en fonction des variations de niveau piézométrique.

➔ Comprendre sa répartition



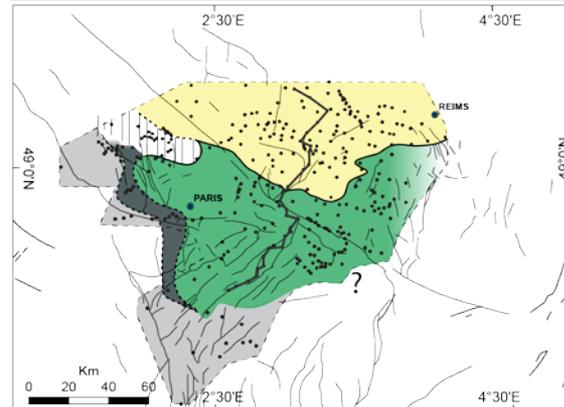
Occurrences de Sélénium dans le bassin de Paris.

Forte affinité avec les milieux réducteurs et la matière organique végétale.

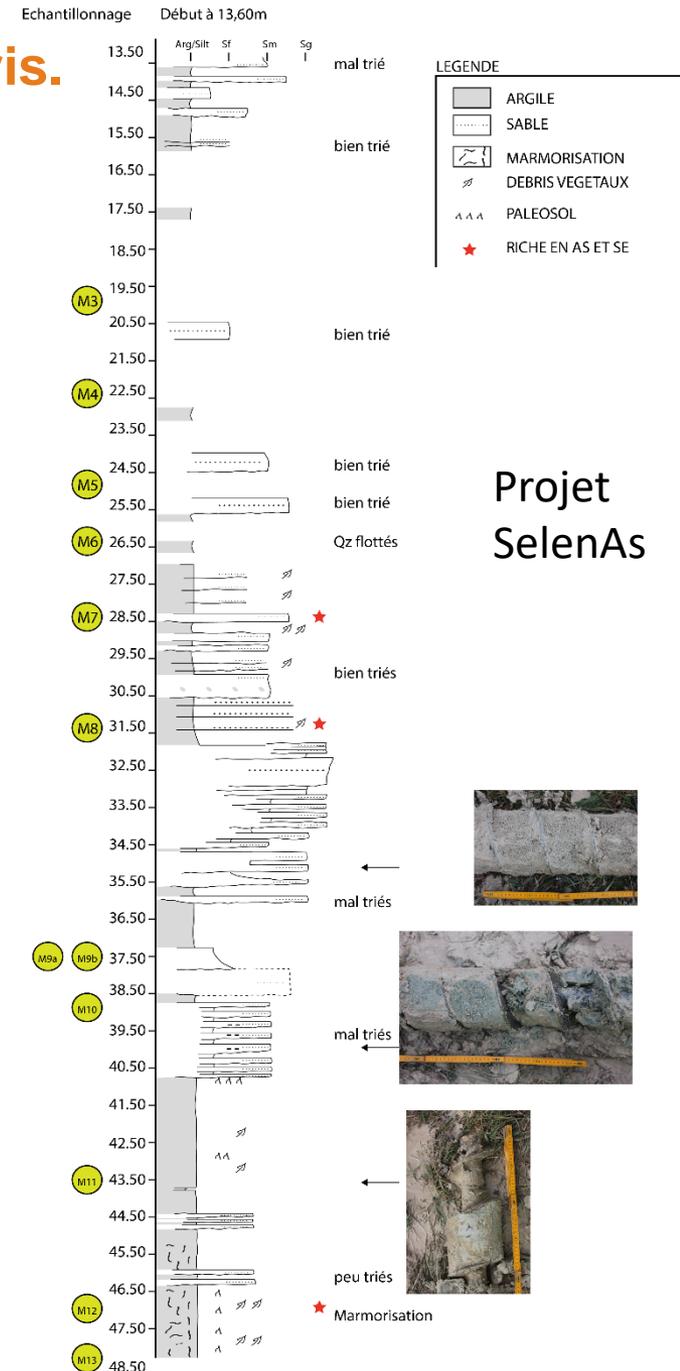
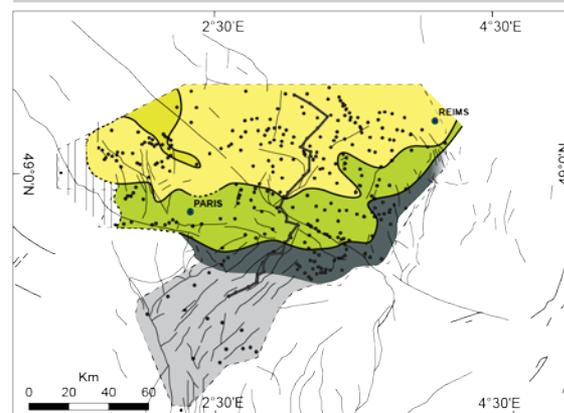
- Identifier les faciès correspondant à des milieux réducteurs : plaine alluviale, lac, plaine deltaïque, baie.
- Quantifier le Sélénium dans les différents faciès.
- Comparer avec les occurrences connues dans les aquifères et in situ.
- Traquer la source « primaire » pour améliorer la prédiction ?



Cycle CY1 (MFS) - Basal Ypresian 2
Y1: «Falun à Cyrena» Fm [55.8-54.8] Ma (55.075)



Cycle CY2.3 (MFS) - Ypresian 3
Y3: Aizy Sands Fm [53-50.6] Ma (52)



Occurrences de Sélénium dans le bassin de Paris.

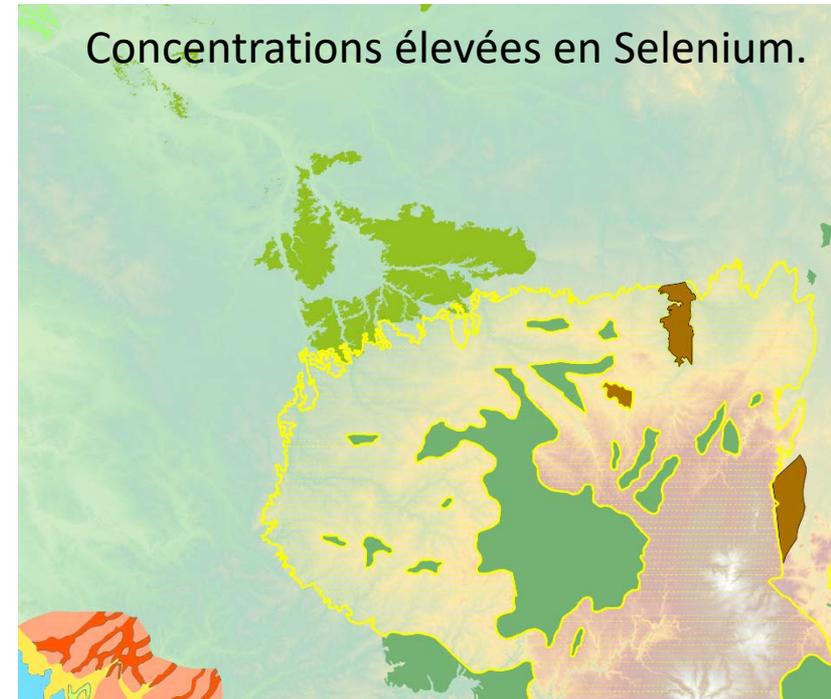
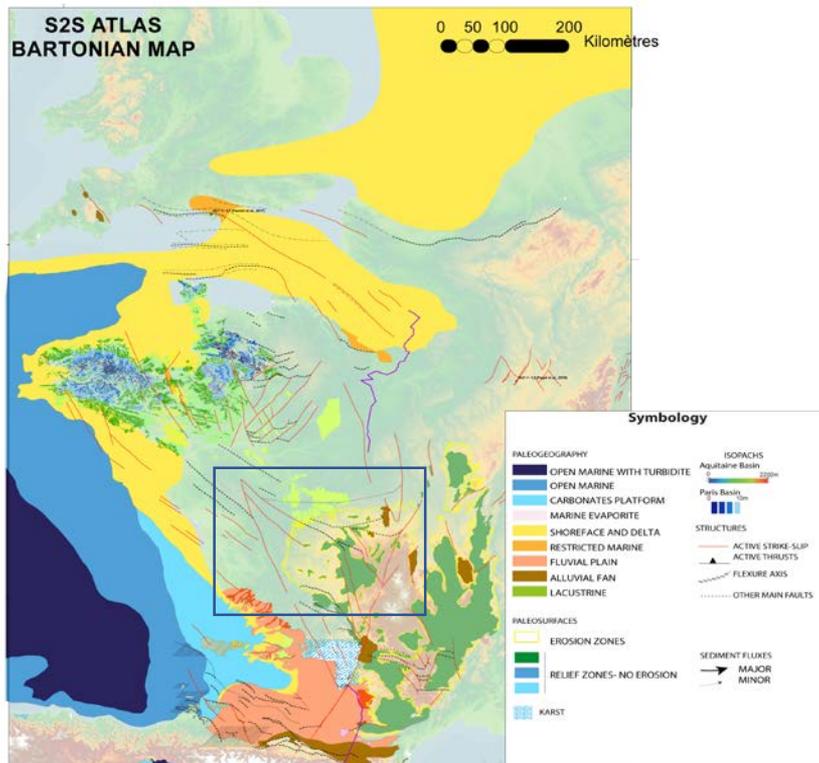
Un chantier possible.

Source du sélénium? Lessivage de black shales? Natif?

Relargage en conditions oxydantes

As?

Projet S2S, Total/BRGM



Surfaces en érosion/
altération au cours du tertiaire.
Source à traquer?

Mettre en place une stratégie de prédiction pour les différentes applications des géosciences:

- Prédire des géométries dans les zones pauvres en données.
- Prédire des contenus et des propriétés pétrophysiques. (Source to sink + Diagenèse).

Projets en cours de montage:

- Des projets nécessairement transdisciplinaires et associés à des collaborateurs externes.
- Démarrages espérés en 2021.
- Prise de contact en cours avec les partenaires extérieurs,
- Etat de l'art et identification précise des tâches au cours de l'année 2020.
- Proposition de thèses 2021 -22.