

**Colloque « Ressources naturelles et environnement »**

5 et 6 novembre 2014

**POSTERS**





# Thématiques

**1. RESSOURCES MINERALES ET HYDROCARBURES**

**2. STOCKAGE SOUTERRAIN ET RECYCLAGE**

**3. RESSOURCES EN EAU ET EN AIR**

**4. TIC ET OBSERVATION DE L'ENVIRONNEMENT**



# **1. RESSOURCES MINERALES ET HYDROCARBURES**

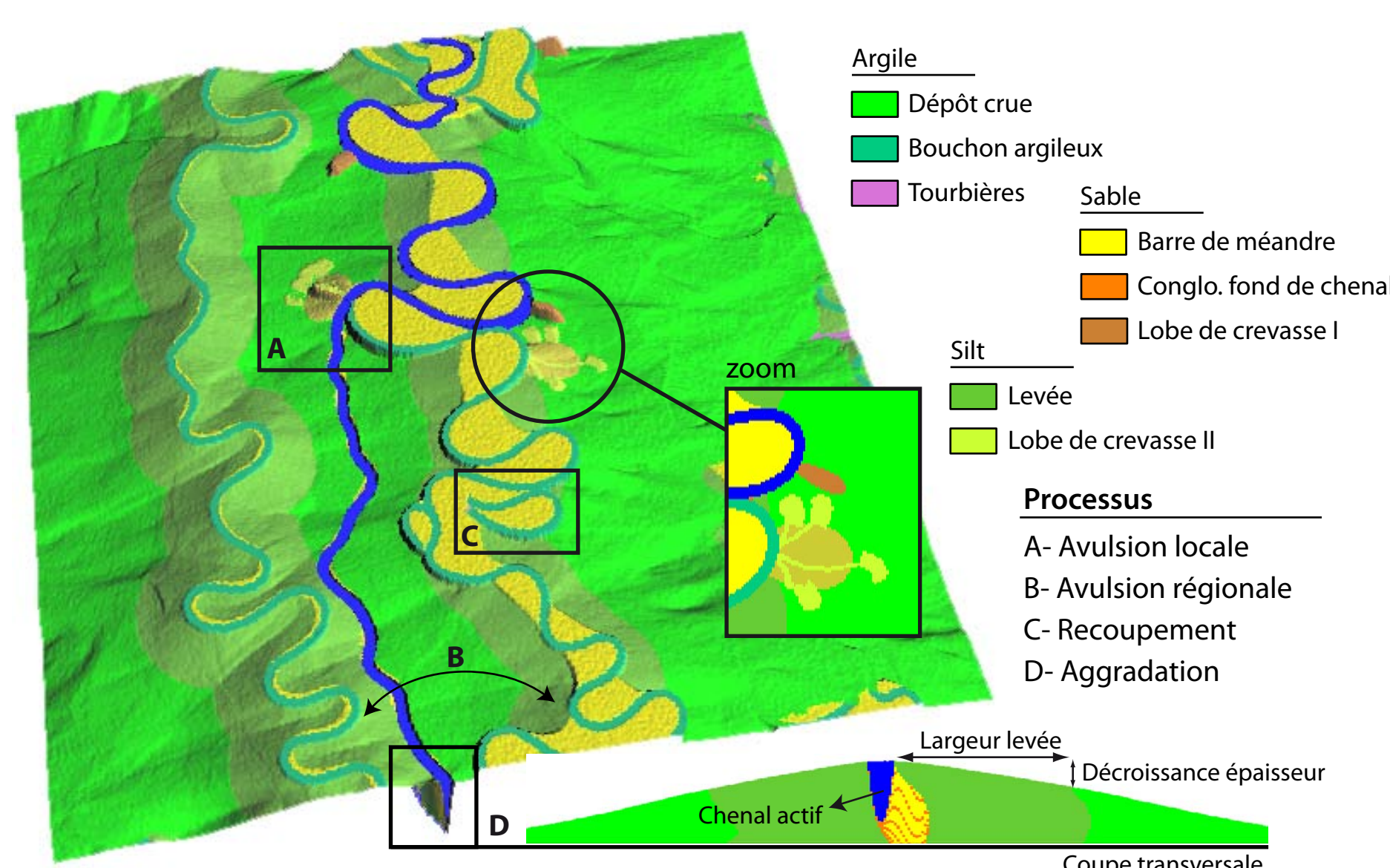
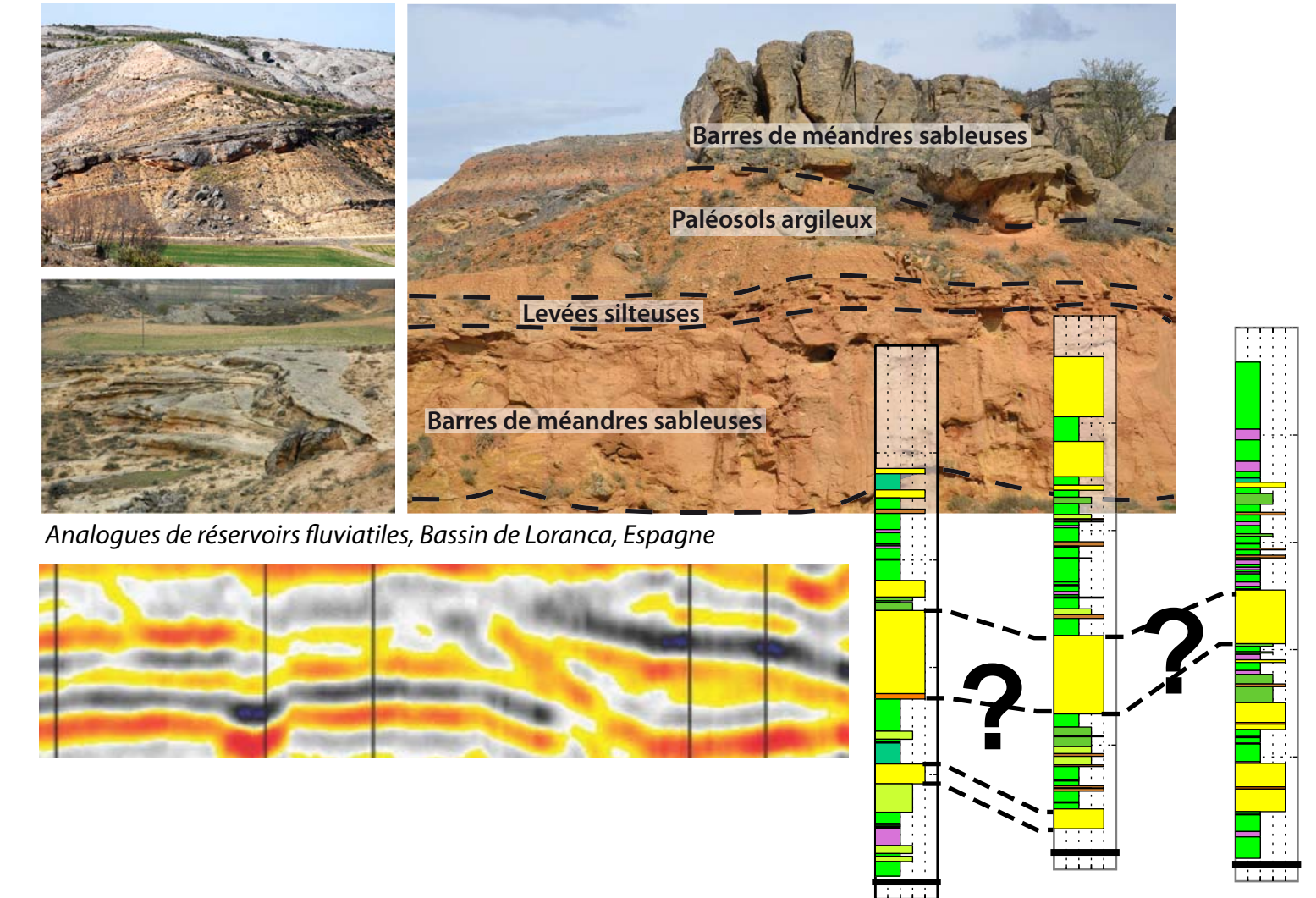


## Parties prenantes



## Systemes sédimentaires chenalisés - Réservoirs hétérogènes

- Réservoirs géologiques = roches poreuses et perméables
- Géométrie et caractéristiques du réservoir dépendantes du mode de dépôt des sédiments
- Réservoirs chenalisés (rivières, turbidites) : géométries complexes, fortes variations latérales et verticales de faciès
- Corrélation des données de puits ? Echelle des hétérogénéités inférieure à la résolution de l'imagerie sismique ?



## Un modèle orienté « processus »

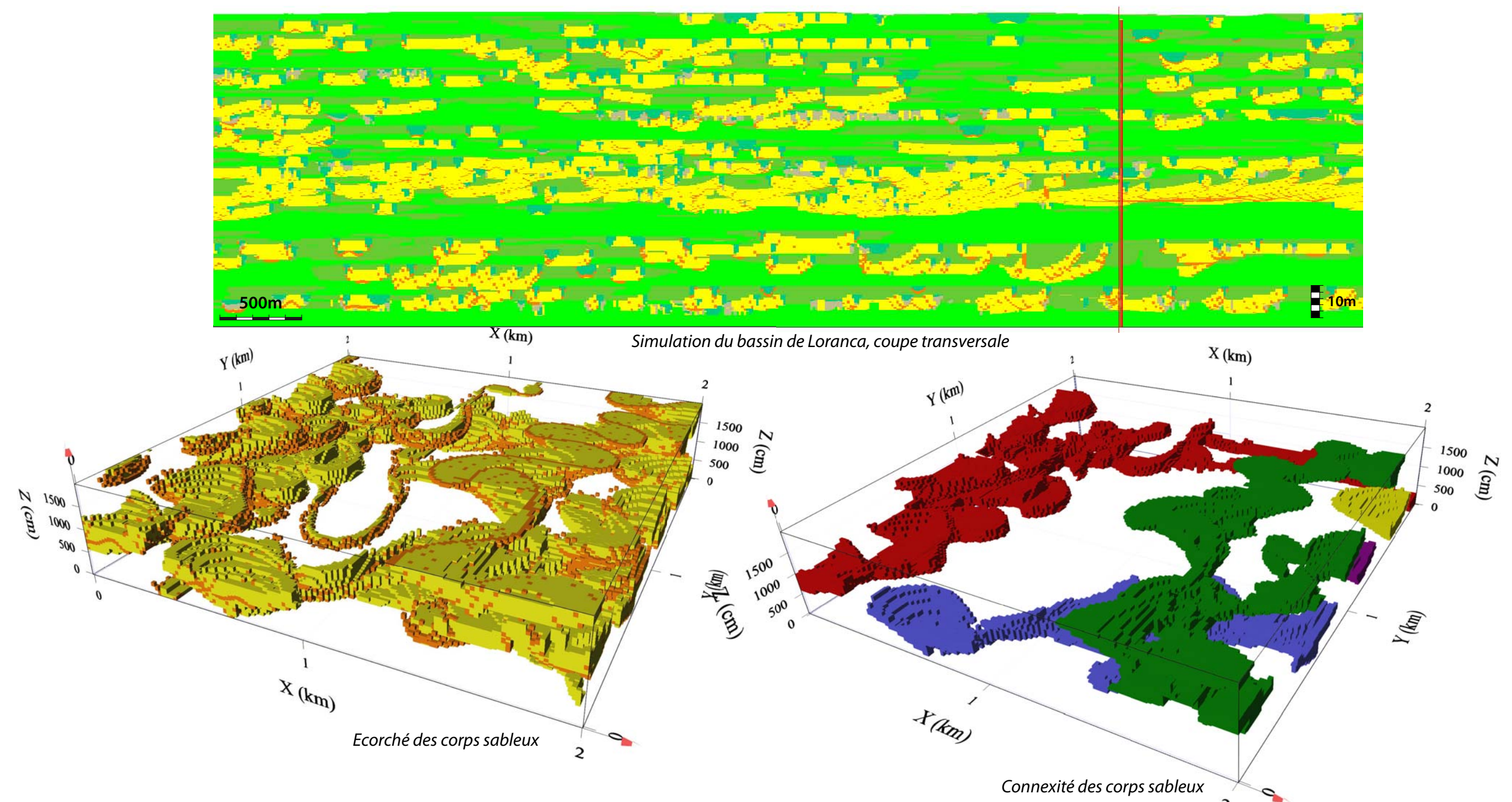
- Modélisation de l'évolution d'un chenal méandrique
- Equations issues de l'hydraulique fluviale
- Simulation de processus hydro-sédimentaires (crue de débordement, rupture de berge, recoupement de méandre, avulsion)
- Dépôts sédimentaires de faciès et de géométries variées, en accord avec les caractéristiques naturelles du système modélisé

## Auteurs

Isabelle Cojan  
Jacques Rivoirard  
Fabien Ors  
Pierre Weill

## Production de blocs réservoirs 3D conditionnés

- Conditionnement en temps réel de la simulation aux données de puits ou à des données sismiques (via cartes d'érodabilité)
- Analyse des résultats en terme de proportion, géométrie et connectivité des faciès réservoirs
- Données d'entrée pour des modélisations d'écoulements en milieux poreux (eau, hydrocarbures, lixiviation in-situ,...)

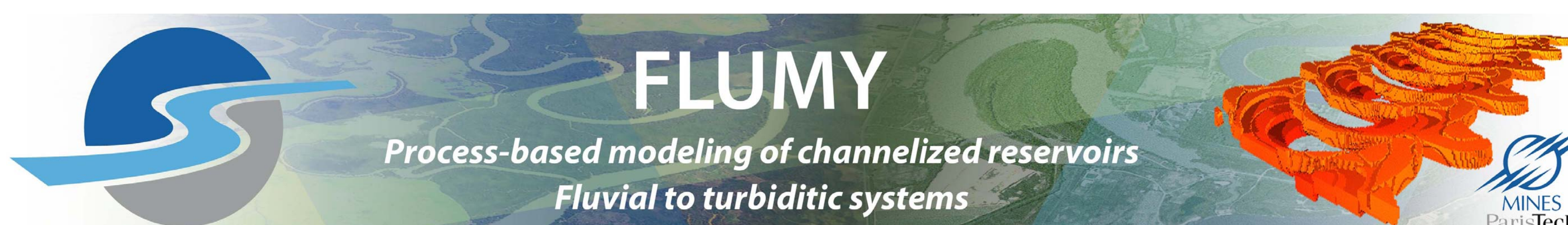


## Partenaires



## Développement et valorisation

- Implémentation de nouvelles équations de l'hydraulique (pente locale) et du transport sédimentaire
- Vers un conditionnement à 100 % par post-processing géostatistique
- Développement d'un module d'aide à la décision et d'analyse automatique des données de puits
- Développement de plug-in pour les suites logicielles de l'industrie minière et pétrolière



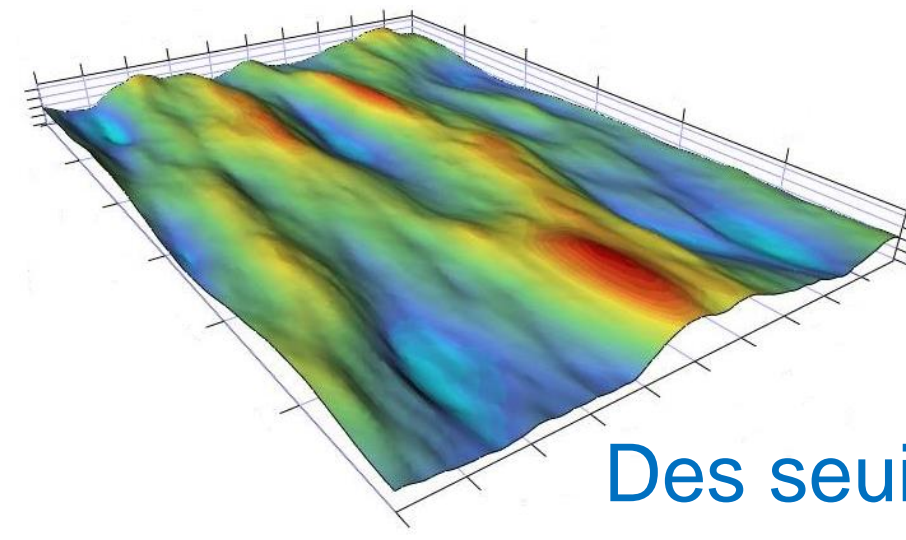
## Résumé

### Auteurs

H. Beucher  
D. Renard

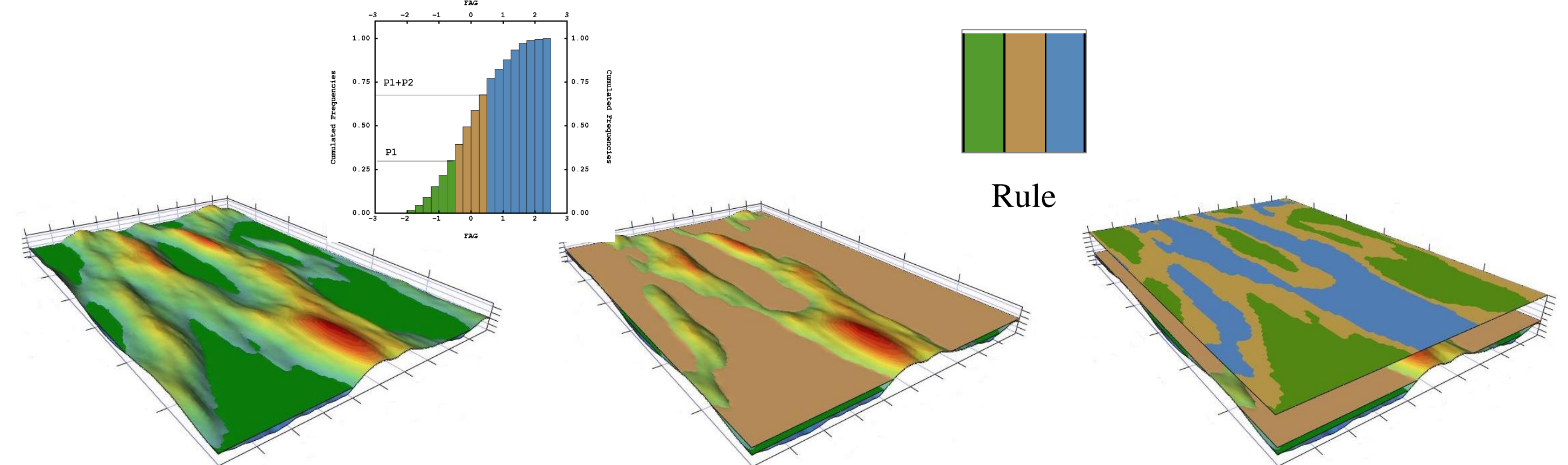
Parmi les méthodes de simulations stochastiques de milieux sédimentaires, celle des Gaussiennes seuillées permet d'obtenir une grande variété de structures présentant des agencements divers. Basée sur un petit nombre de paramètres, elle s'est enrichie au fil du temps pour tenir compte de contraintes supplémentaires ou pour reproduire des dépôts résultant de phénomènes complexes. Proportions variables dans le domaine, plusieurs processus sédimentaires corrélés, dépôts orientés, formes particulières... sont des caractéristiques qu'il est possible de reproduire avec cette famille de modèles en modifiant les ingrédients de base.

## Ingrédients de base



Une fonction sous-jacente (Fonction Aléatoire Gaussienne) qui porte une partie de la structure spatiale des faciès (MonoGS)

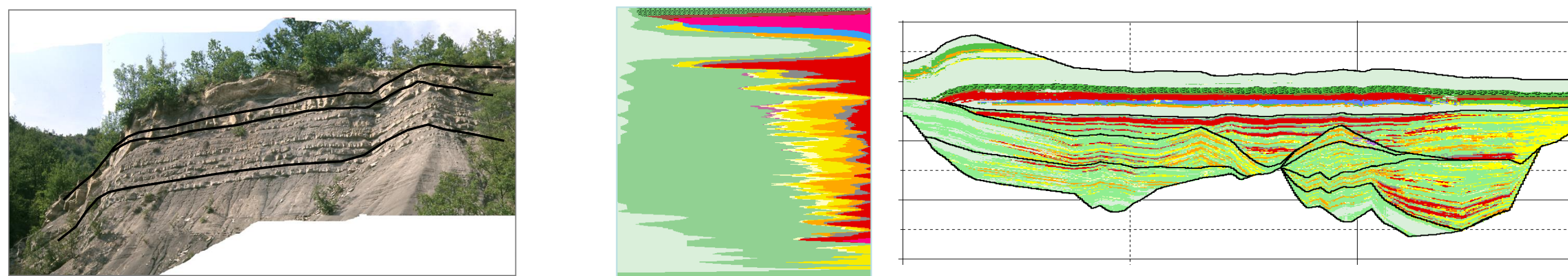
Des seuils (proportions) et un agencement (rule) qui déterminent les faciès



## Réalisations en Gaussiennes seuillées

### Agencement séquentiel

➤ Mono gaussienne et non stationnarité

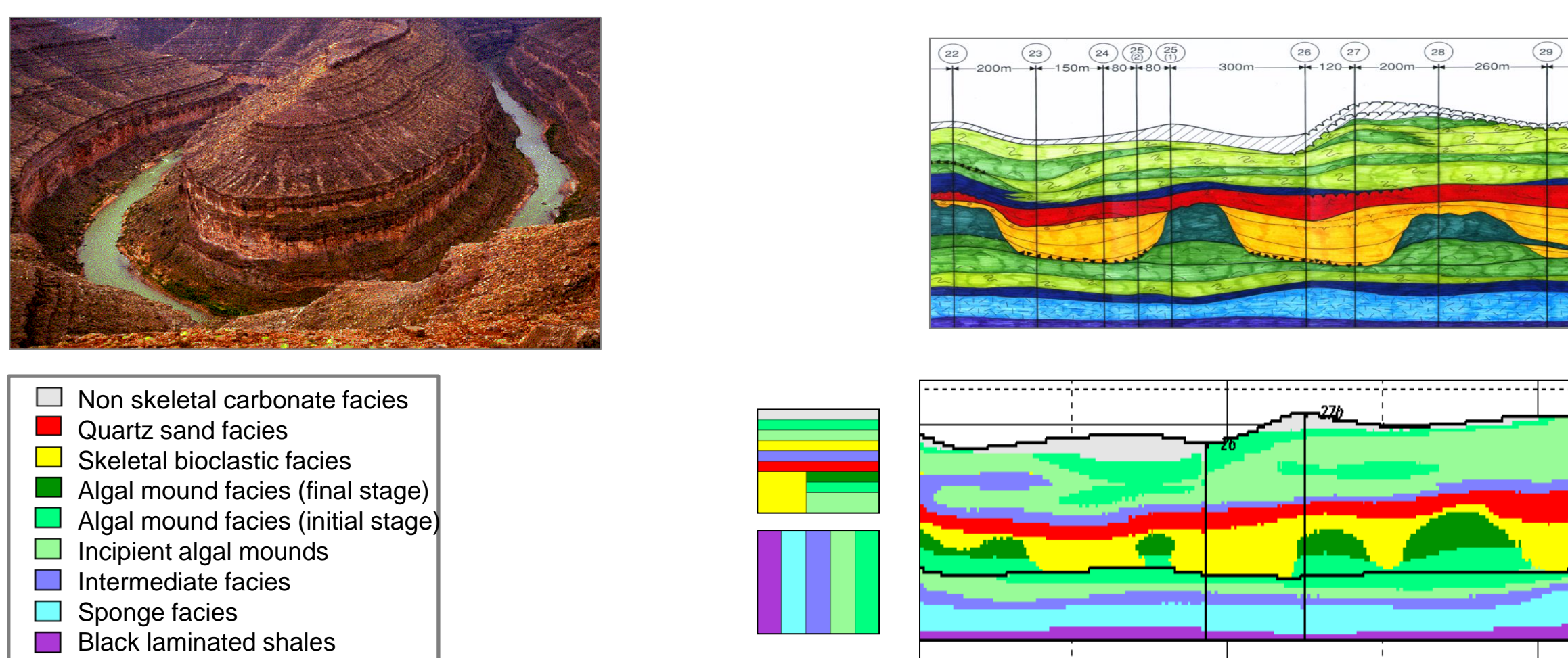


Castagnola: Siliciclastic turbidite unit

From F. Felletti

### Dépôts non tabulaires et interdépendants

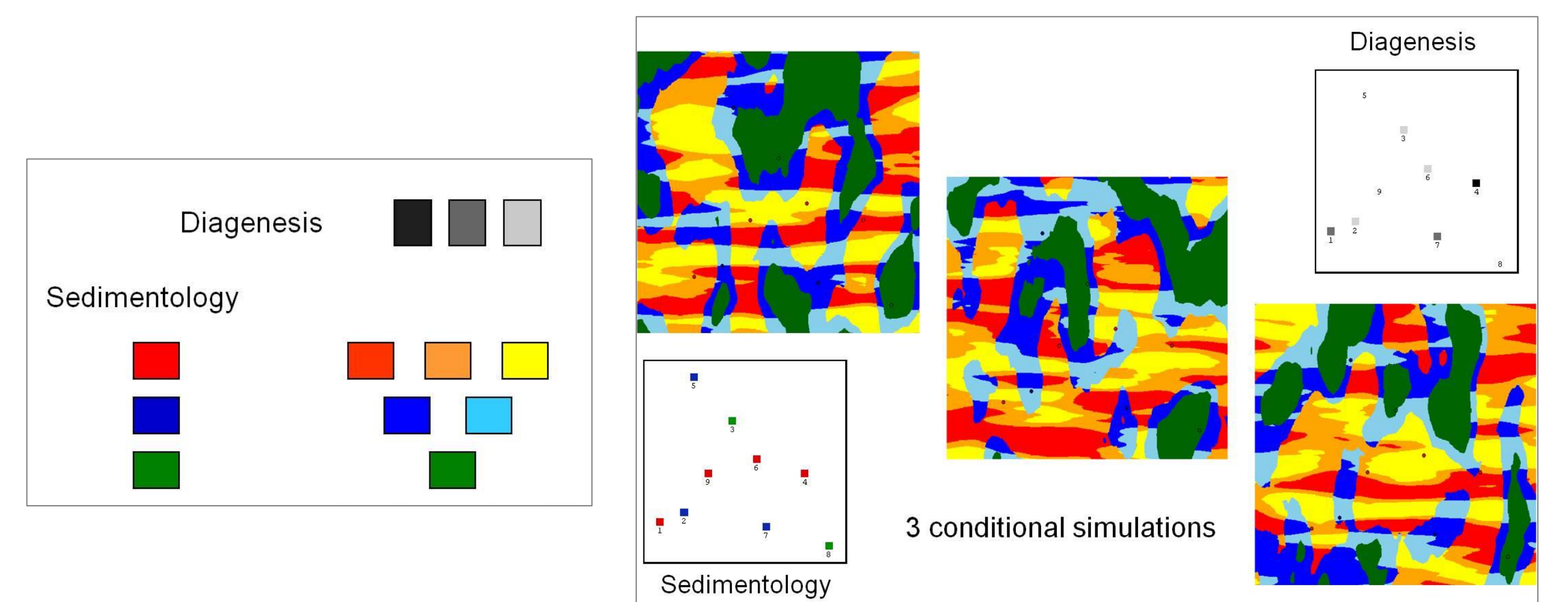
➤ Deux gaussiennes corrélées (PGS)



Paradox: algal mounds MINES ParisTech Géosciences & IFPEN

### Deux indicatrices liées

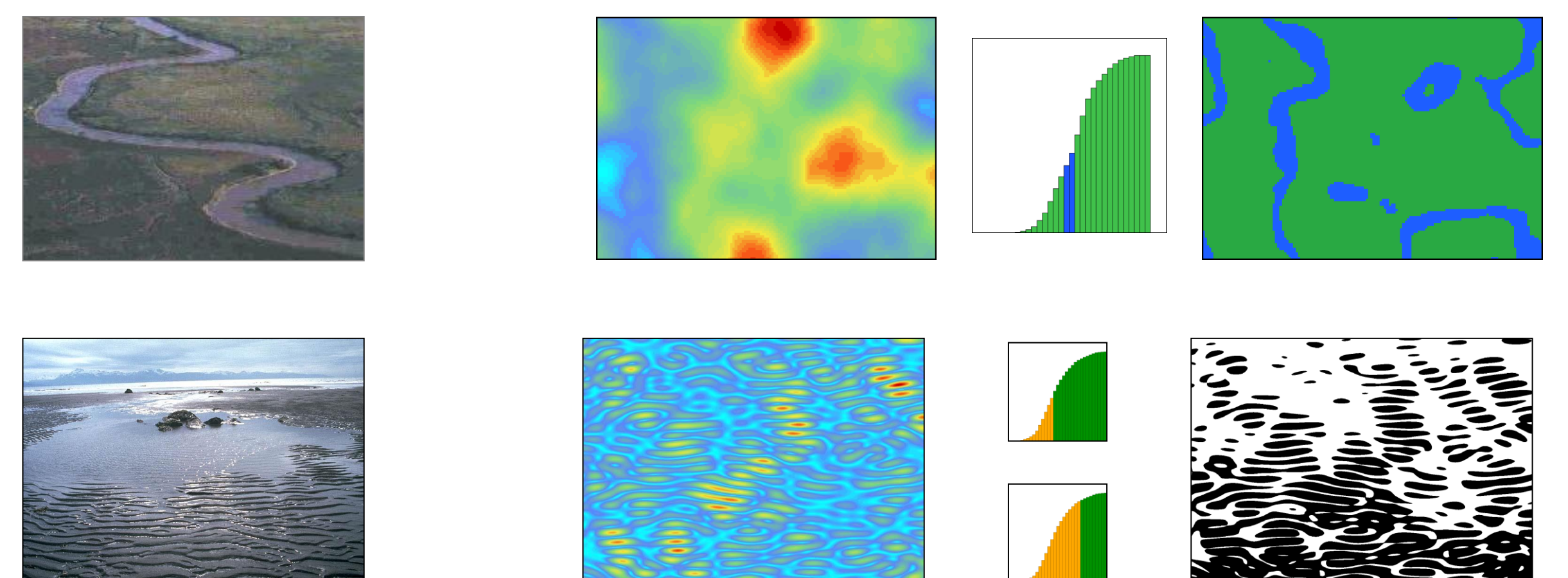
➤ Deux PGS liées à des processus sédimentaires (Bi-PGS)



MINES ParisTech Géosciences IFPEN & ENI

### Formes particulières

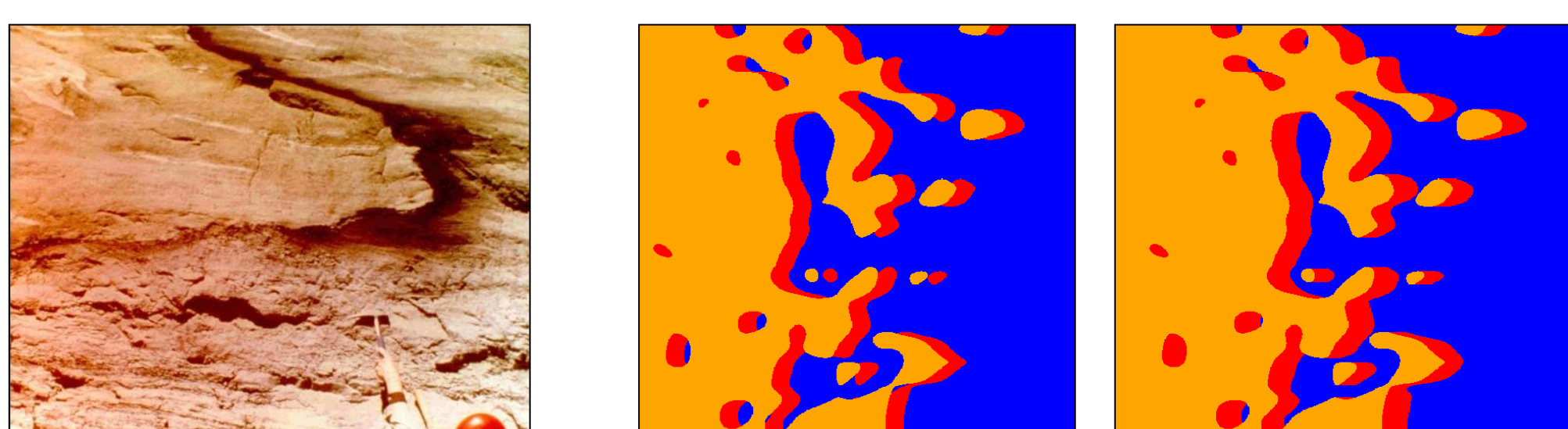
➤ Variations sur les intervalles de seuillage



## Variantes

### Tenir compte d'une orientation

➤ Décalage ou Ombre



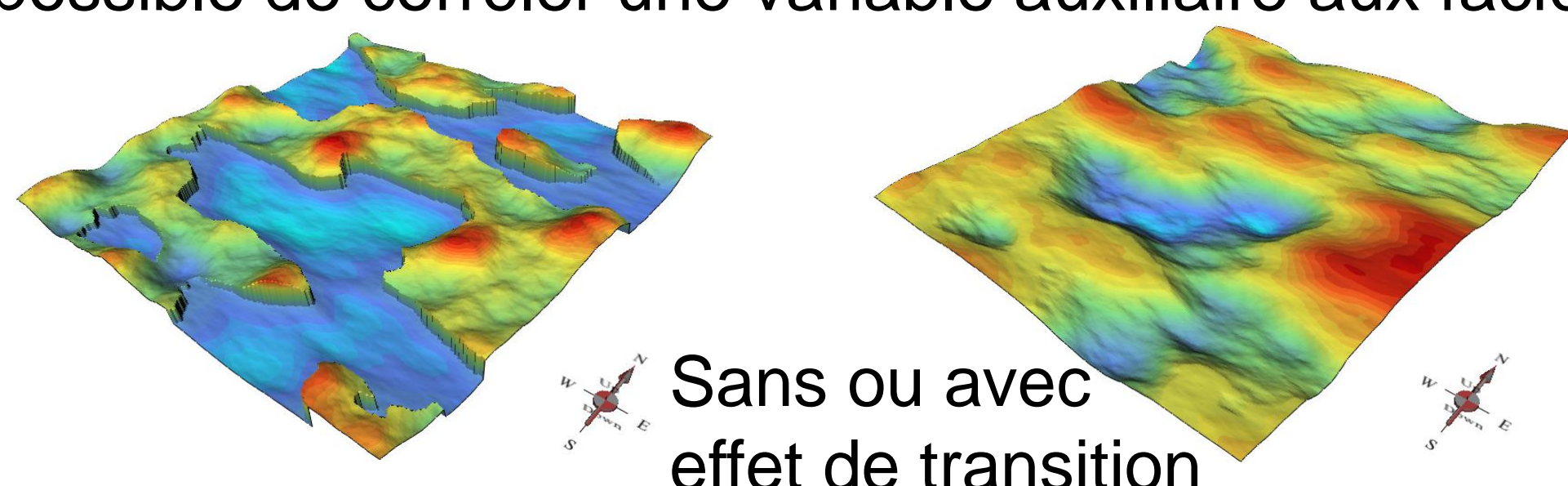
Roll fronts

MINES ParisTech Géosciences & AREVA

## Compléments

### Lien faciès et propriétés

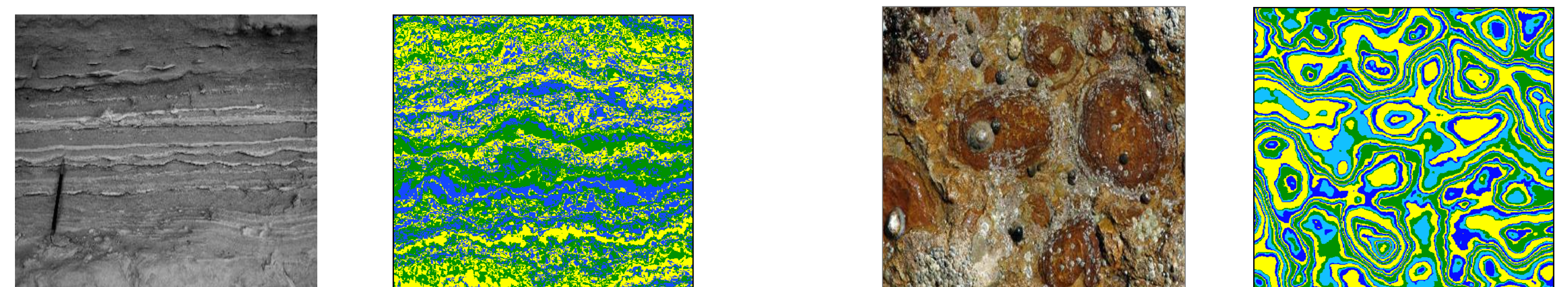
Par l'intermédiaire de la fonction sous-jacente il est possible de corrélérer une variable auxiliaire aux faciès



Sans ou avec effet de transition

### Alternance des lithofaciès haute fréquence

➤ Substitution



## Conclusion et références

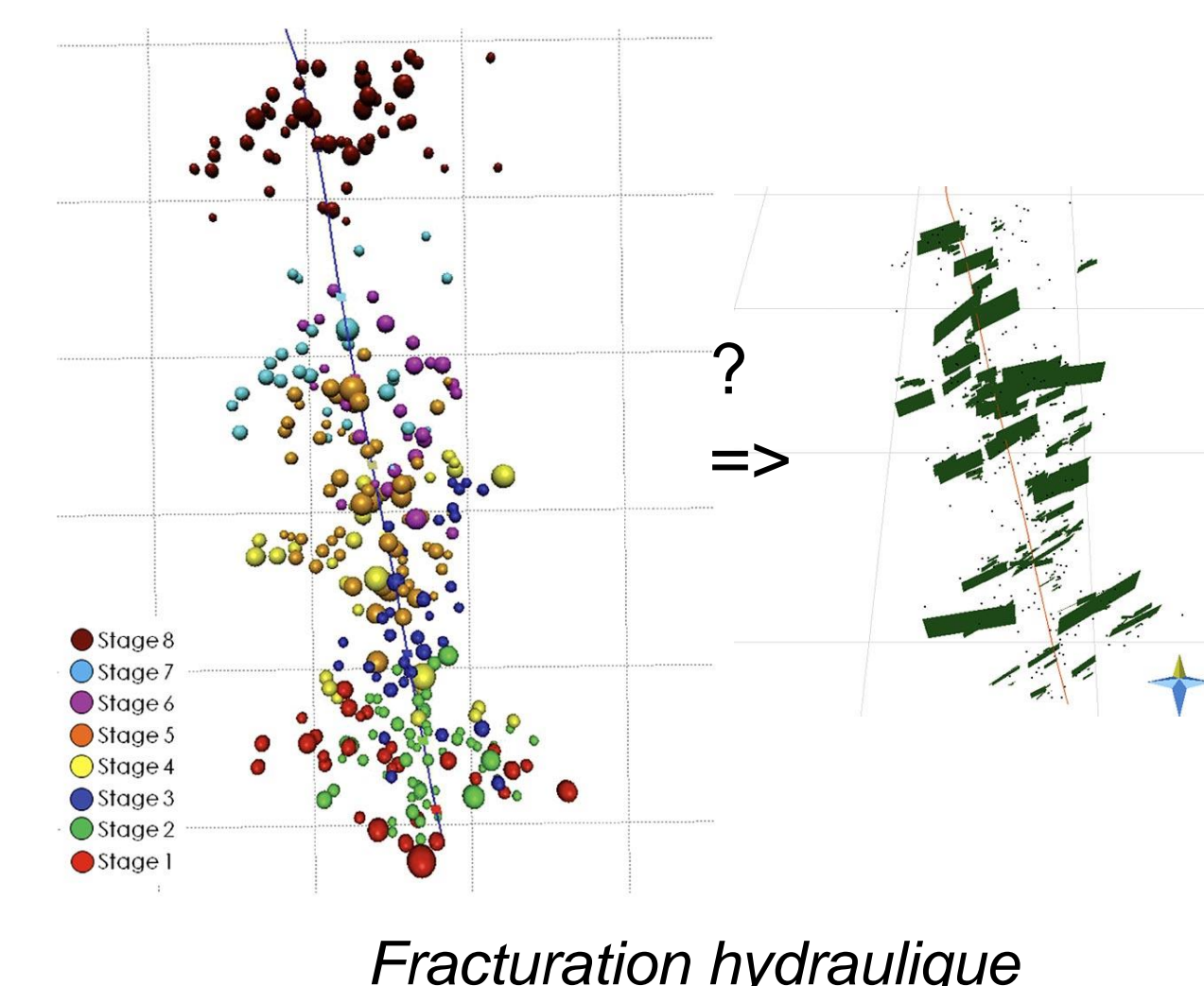
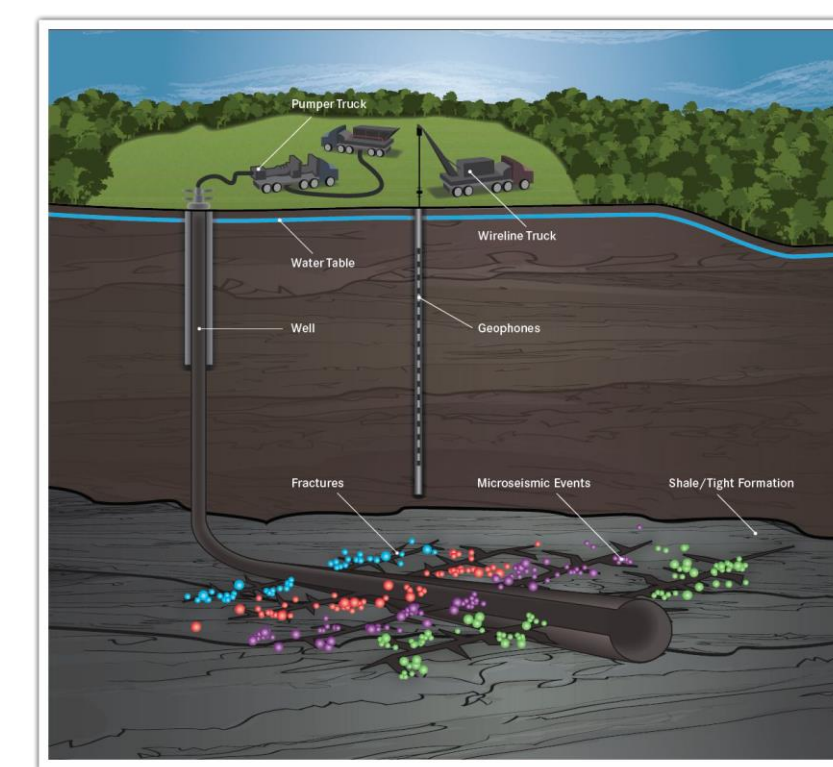
Cette méthode très riche par ses possibilités peut aussi se combiner avec d'autres méthodes, en simulant par exemple des hétérogénéités à l'intérieur de formes géologiques obtenues par méthodes génétiques (simulations emboîtées). Un autre intérêt de cette approche est de pouvoir simuler conjointement les faciès et leurs propriétés (porosité, teneur en métal...).

Armstrong, M., Galli A.G., Beucher H., Le Loc'h G., Renard D., Doligez B., Eschard R., and Geffroy F. (2011). *Plurigaussian Simulations in Geosciences*, 2nd ed. Springer, Berlin, Germany  
Lantuéjoul C. 2001. *Geostatistical simulation : models and algorithms*. Berlin : Springer, 2001. 256 p.- ISBN 3-540-42202-1



## CONTEXTE: MONITORING MICROSISMIQUE

- Domaines d'application: mines, réservoirs pétroliers, géothermie, gaz de schiste, volcans,...
- Sismicité = seul outil disponible pour suivre la fracturation et interpréter réseau de fractures
- Importance d'avoir des localisations précises et des estimations fiables des incertitudes
- Plus grandes erreurs de localisation dues au modèle de vitesse
- Application de méthodes stochastiques à la géophysique afin d'estimer et de propager les incertitudes du modèle de vitesse



### Parties prenantes



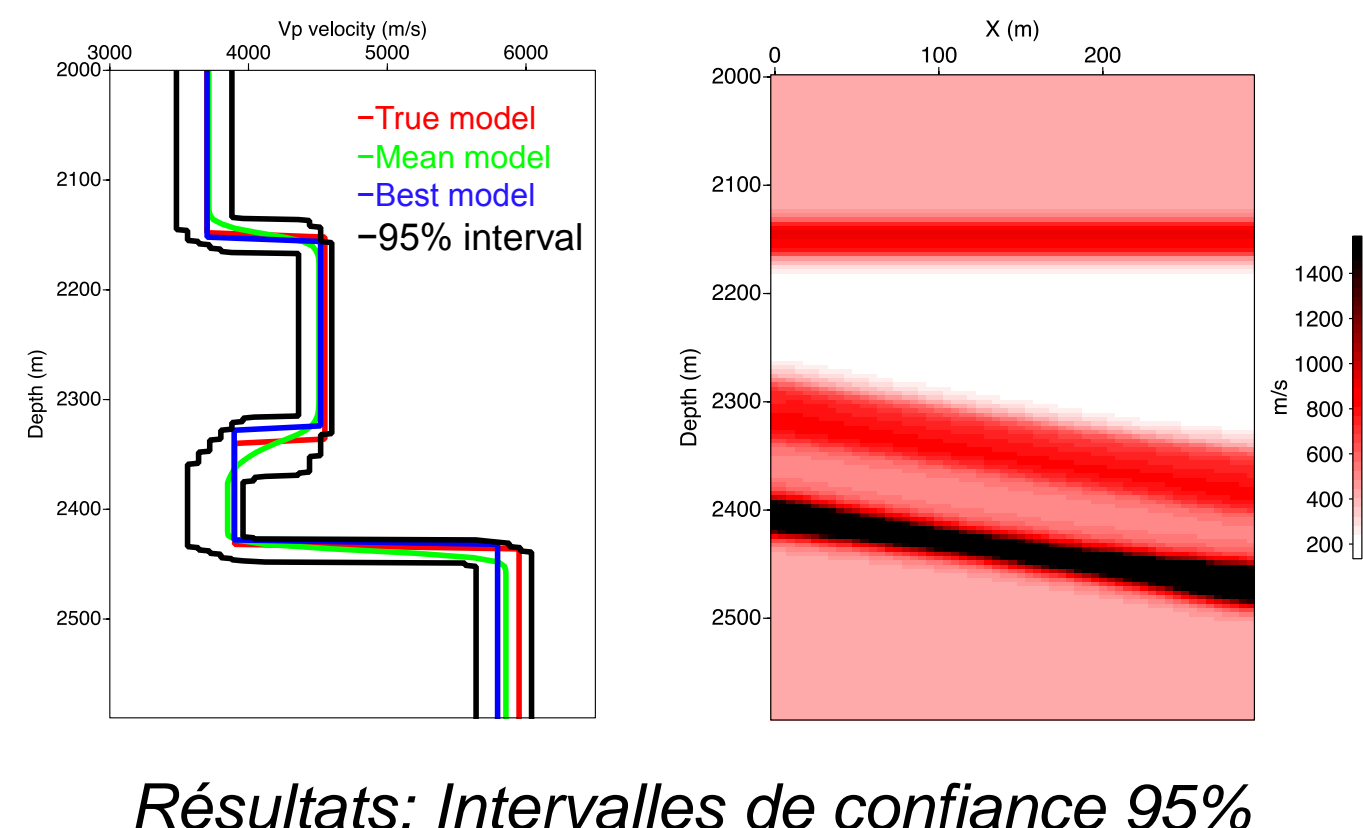
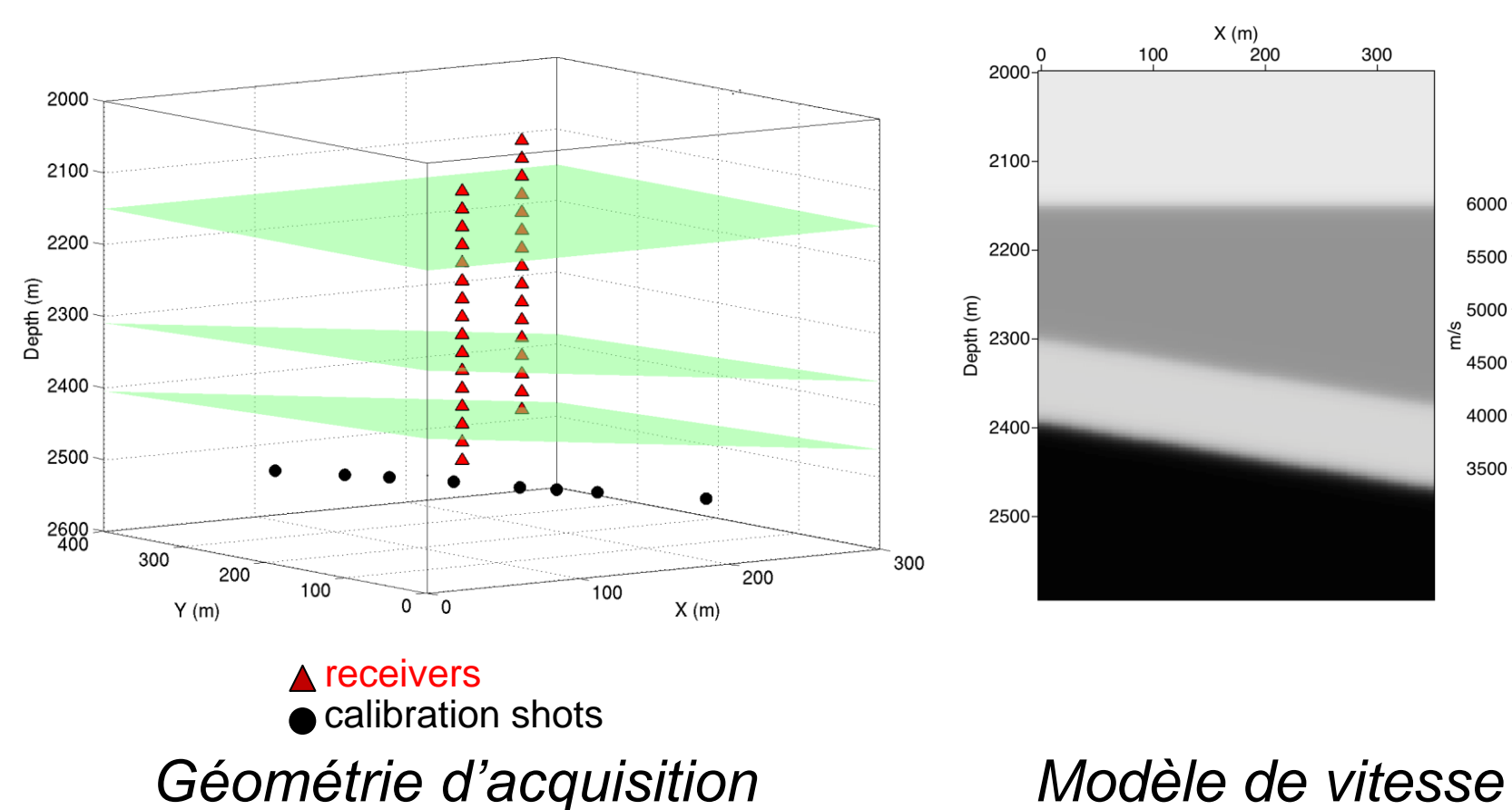
### Auteurs

Alexandrine Gesret  
Nicolas Desassis  
Mark Noble  
Thomas Romary

### Partenaires



### Données synthétiques



## GÉOPHYSIQUE STOCHASTIQUE

### Tomographie

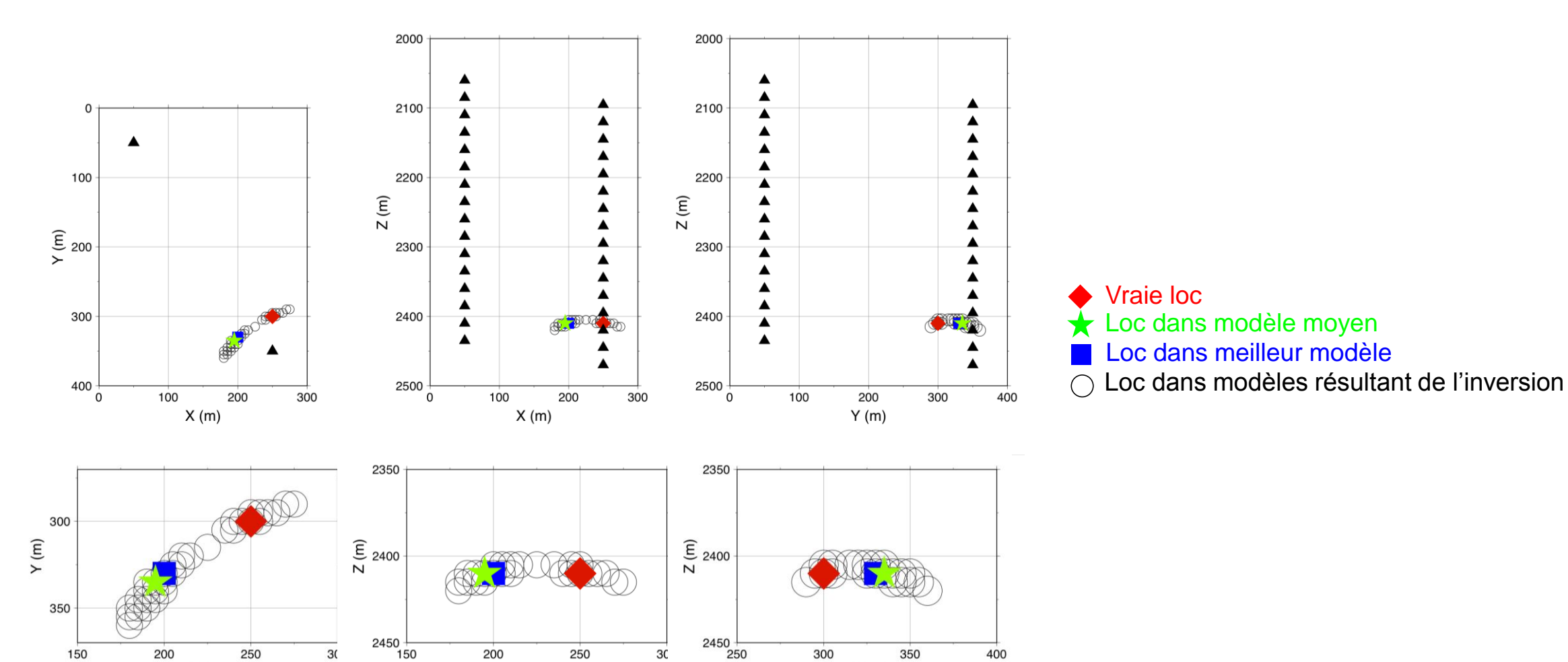
- Tomographie = problème inverse visant à estimer le modèle de vitesse sachant les temps d'arrivée des ondes pour des sources sismiques connues (tirs de calibration)
- Tomographie stochastique = échantillonnage de la distribution de probabilité a posteriori des modèles de vitesse sachant les temps d'arrivée observés  $\pi(m|d^{obs})$  avec des algorithmes de type MCMC

$$\pi(m|d^{obs}) \propto \pi(m) \exp\left(-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{nsensors} \left(\frac{d_{obs,i} - d_{cal,i}(v)}{\sigma_v^i}\right)^2\right)$$

- Identification des régions bien et mal contraintes
- Vraie estimation des incertitudes

### Localisation des événements sismiques

- Influence du modèle de vitesse sur la localisation



- Localisation probabiliste standard = 1 seul modèle de vitesse

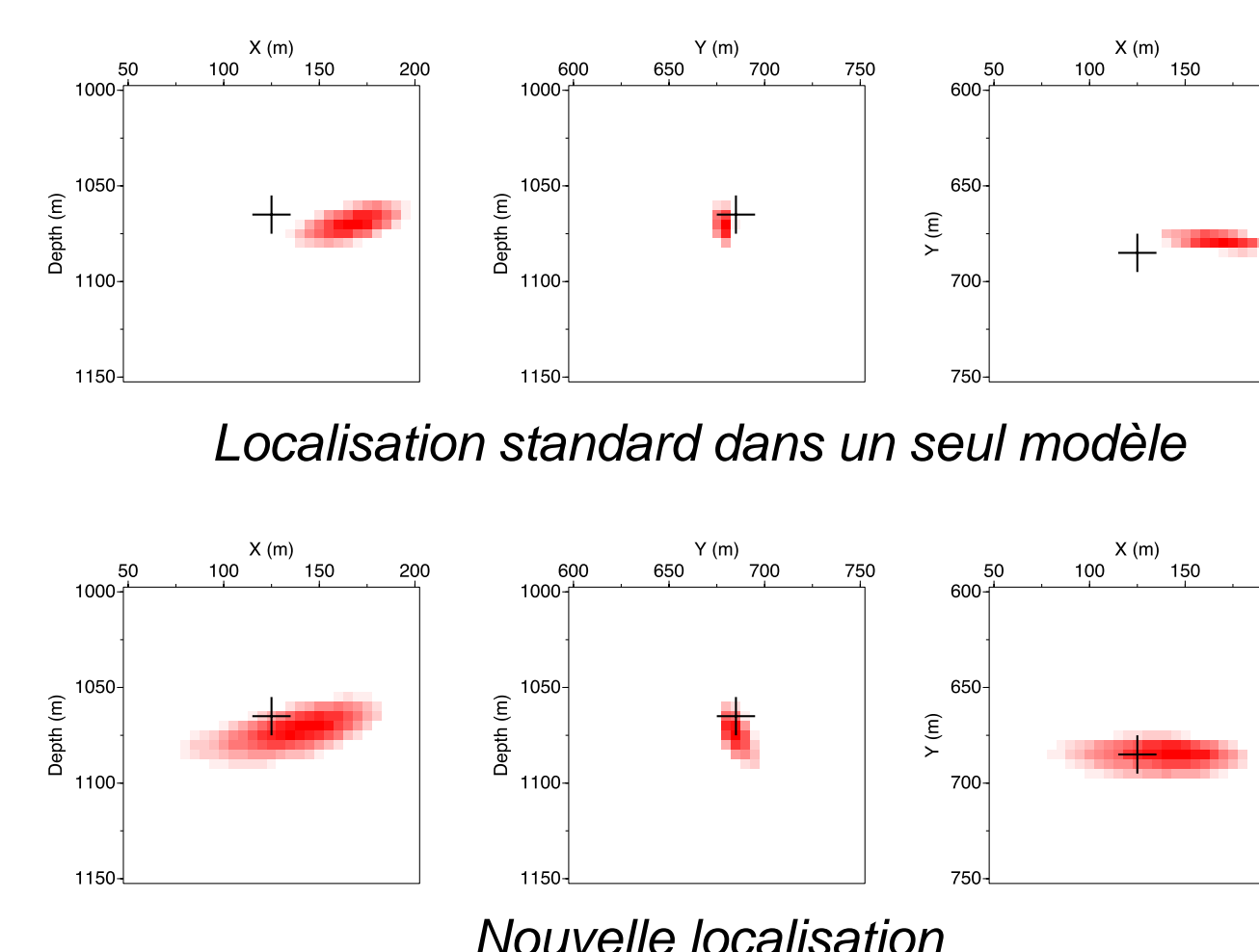
$$p(d_s^{obs}, v) \propto \exp\left(-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{nsensors} \frac{(d_s^{obs,i} - d_s^{cal,i}(l, v))^2}{S_s^i}\right)$$

- Nouvelle localisation = propagation des incertitudes du modèle de vitesse à la localisation

$$p(l|d_s^{obs}) \propto \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \exp\left(-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{nsensors} \frac{(d_s^{obs,i} - d_s^{cal,i}(l, v_j))^2}{S_s^i}\right)$$

- Localisation bien plus fiable + vraie estimation des incertitudes

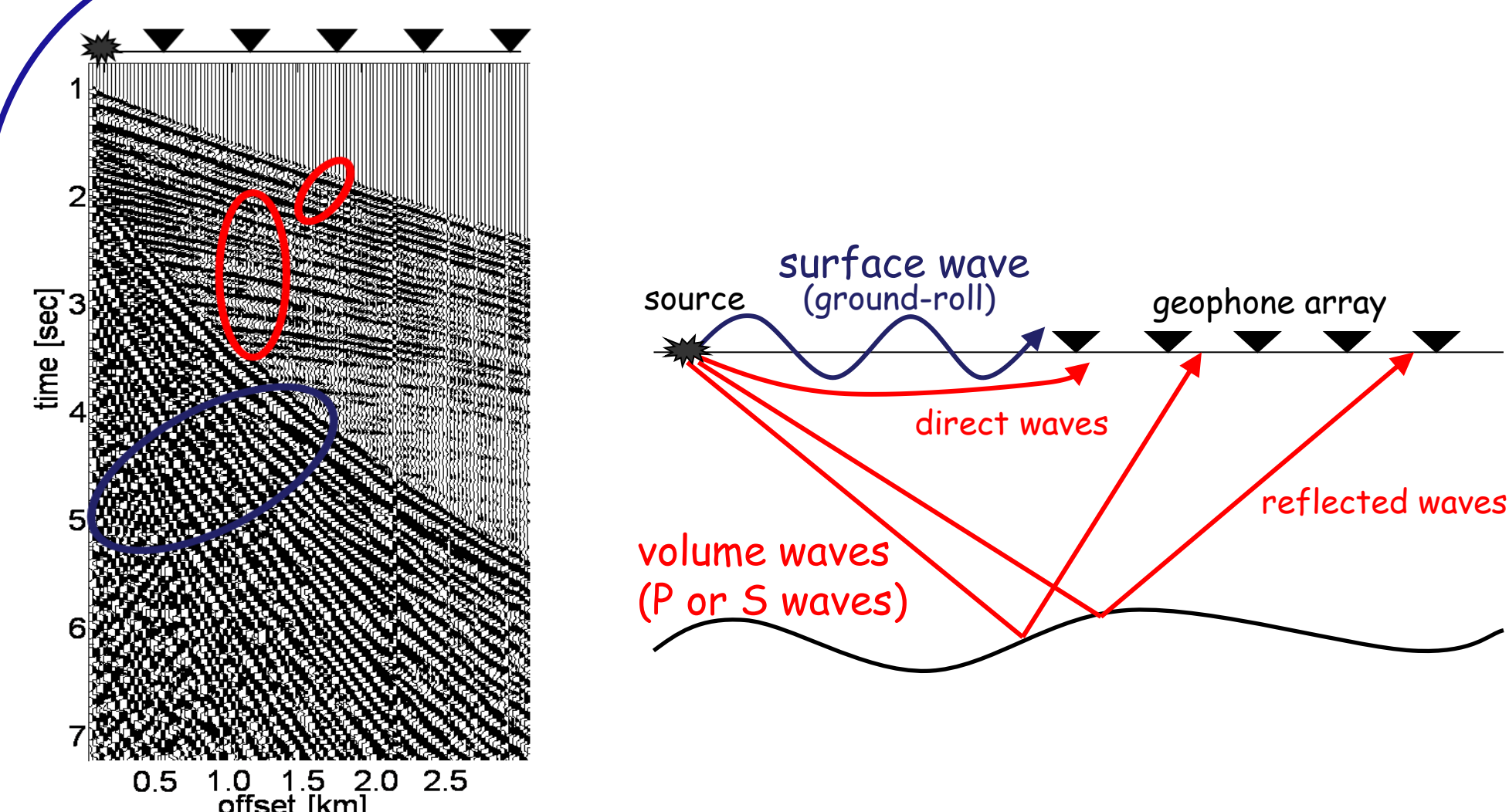
### Données réelles



## CONCLUSION

- Application probante à des données réelles acquises dans le contexte de la fracturation hydraulique
- 1 article accepté (Gesret et. al., 2014, *Geophys. J. Int.*)
- Initiation d'une nouvelle thématique: géophysique stochastique
- 1 Master recherche (1 article en préparation) + 1 thèse en cours
- Projet ADEME 2014 en géothermie + possibilité d'application à l'exploitation minière

## Abstract



### Motivations:

- About 67% of the energy generated by a source at the air-ground interface propagates in the form of surface waves
- Surface waves could be used to characterize the near subsurface, because their properties depend on the shallow subsurface attributes
- For hydrocarbon exploration, the near surface is a major source of wavefield distortion, thus reducing the quality of the image at the exploration target level

### State-of-art literature:

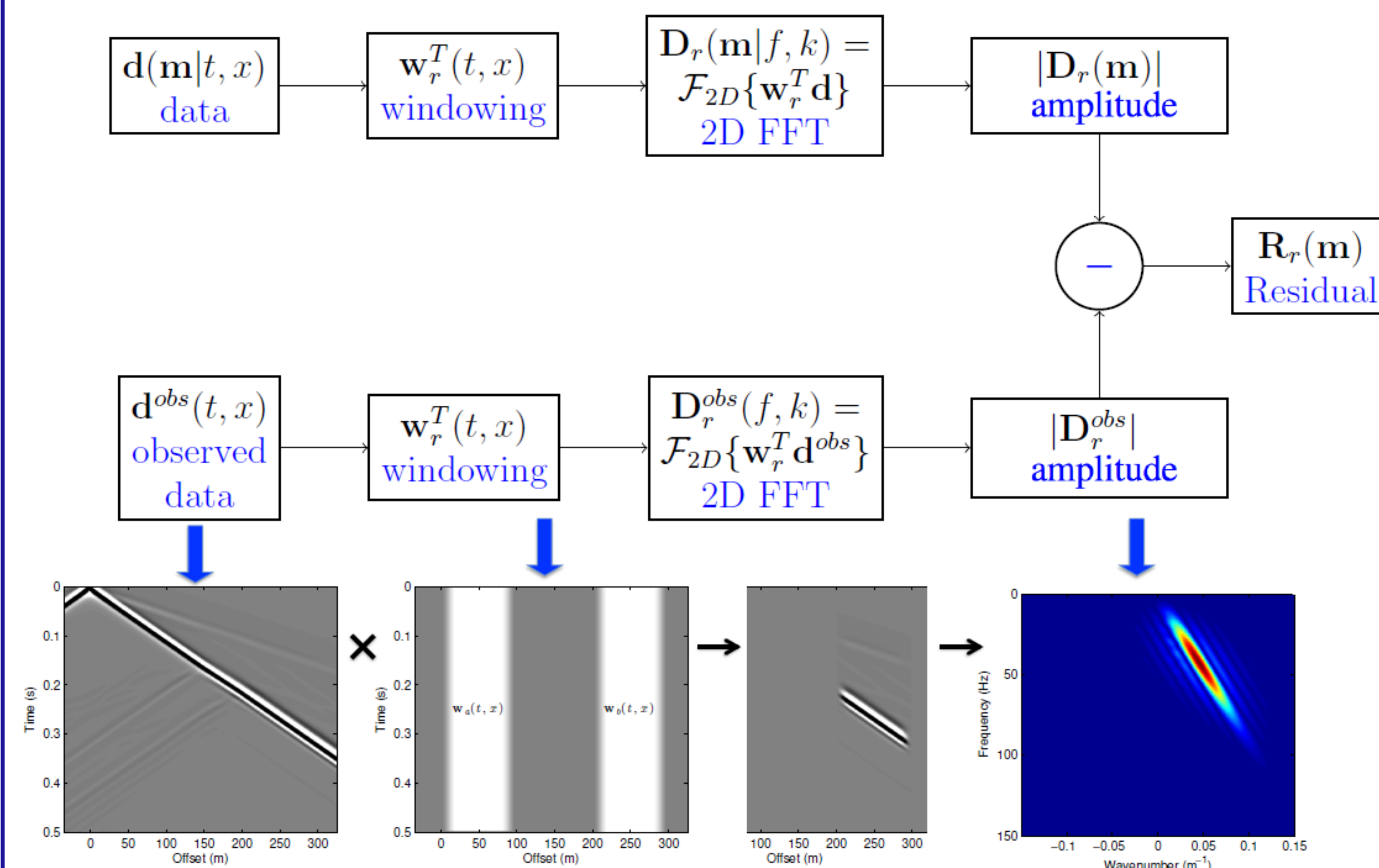
- Inversion of surface waves is usually done by inversion of dispersion curves (Socco et al., 2010), which allows retrieving locally 1D velocity profiles
- For imaging complex models, full-waveform inversion (FWI) can be used. But, surface waves increase the presence of local minima in the objective function preventing from convergence towards the global minimum
- For improving convergence, we propose an alternative waveform-inversion objective function, which is similar to dispersion curve analysis, but without the extraction/picking of dispersion curves

## Proposed methodology

Full Waveform Inversion (FWI) vs. windowed-Amplitude Waveform Inversion (w-AWI)

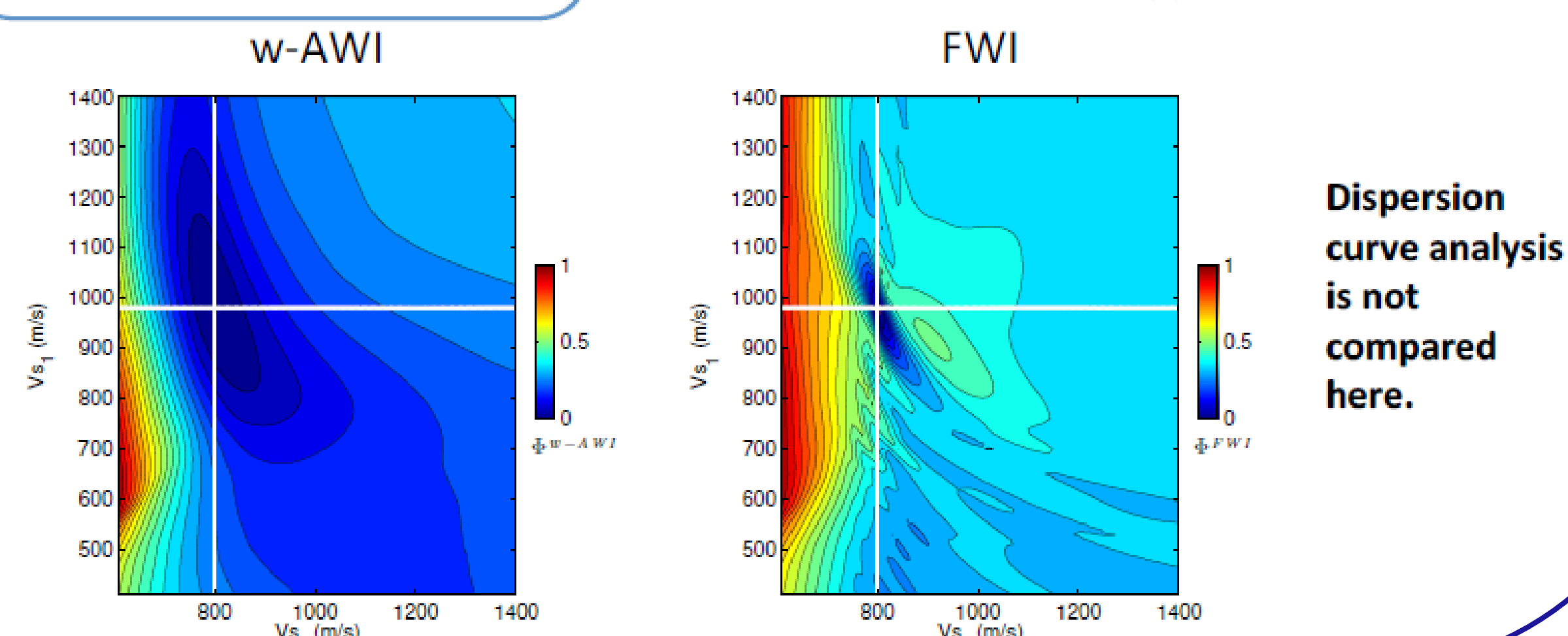
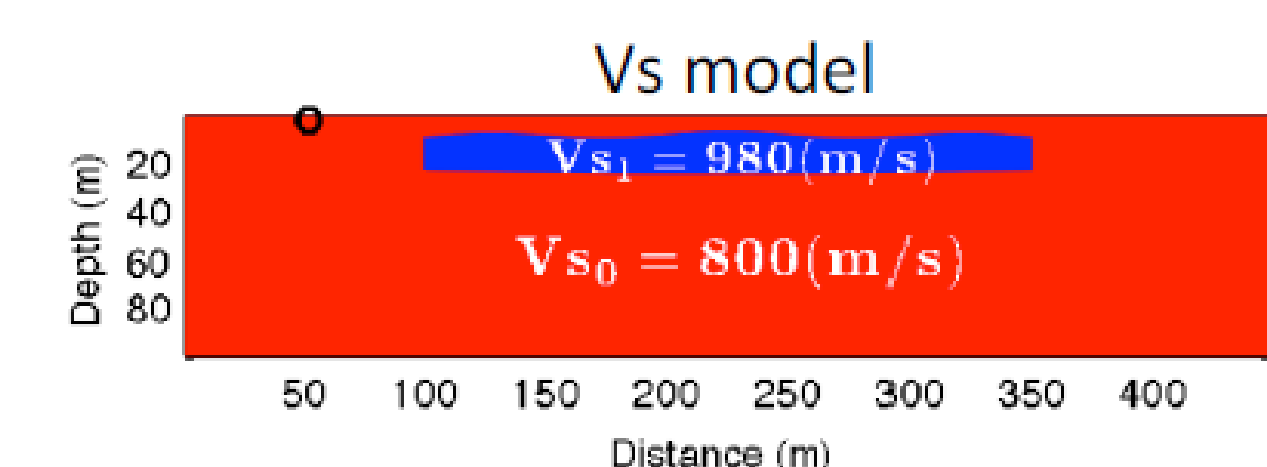
$$\Phi_1(\mathbf{m}) = \frac{1}{2} \sum_{src} \mathbf{P} \|\mathbf{d}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}^{obs}\|^2 \quad \text{vs.} \quad \Phi_2(\mathbf{m}) = \frac{1}{2} \sum_r \sum_{src} \|\mathbf{D}_r(\mathbf{m}) - \mathbf{D}_r^{obs}\|^2$$

### w-AWI implementation scheme:

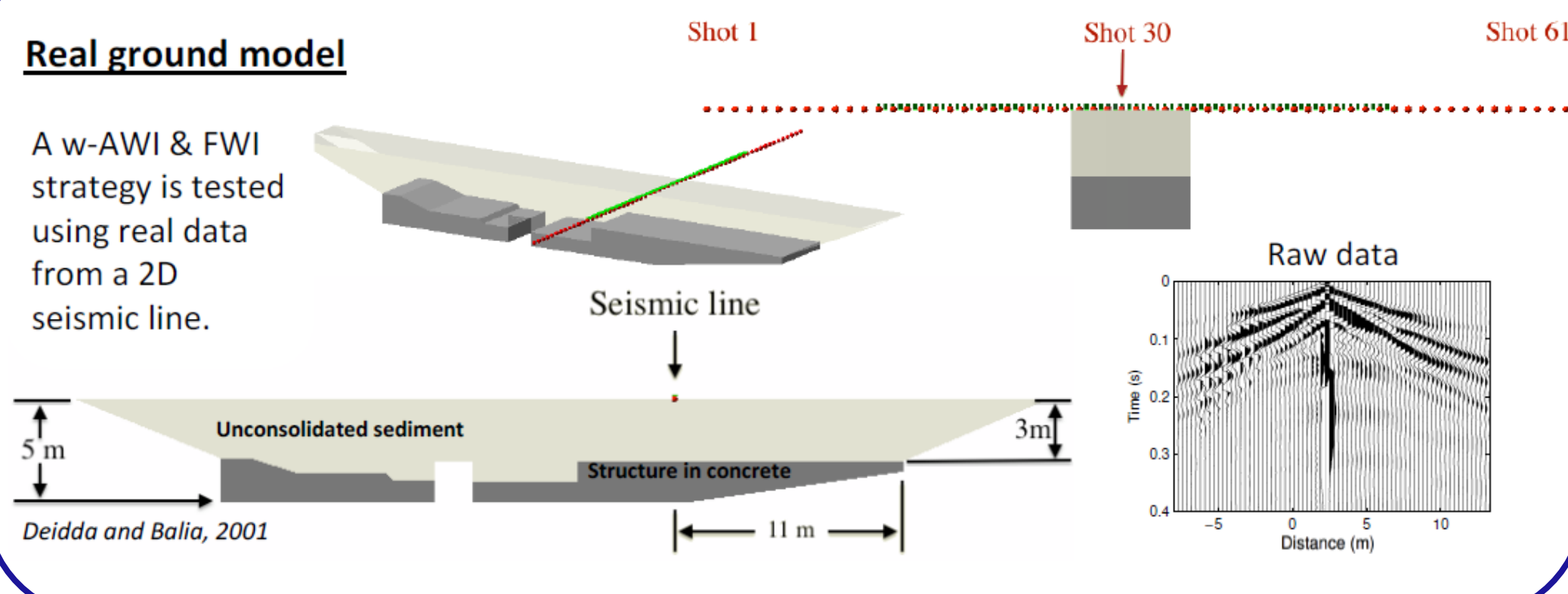


### Comparison of objective functions: w-AWI vs. FWI

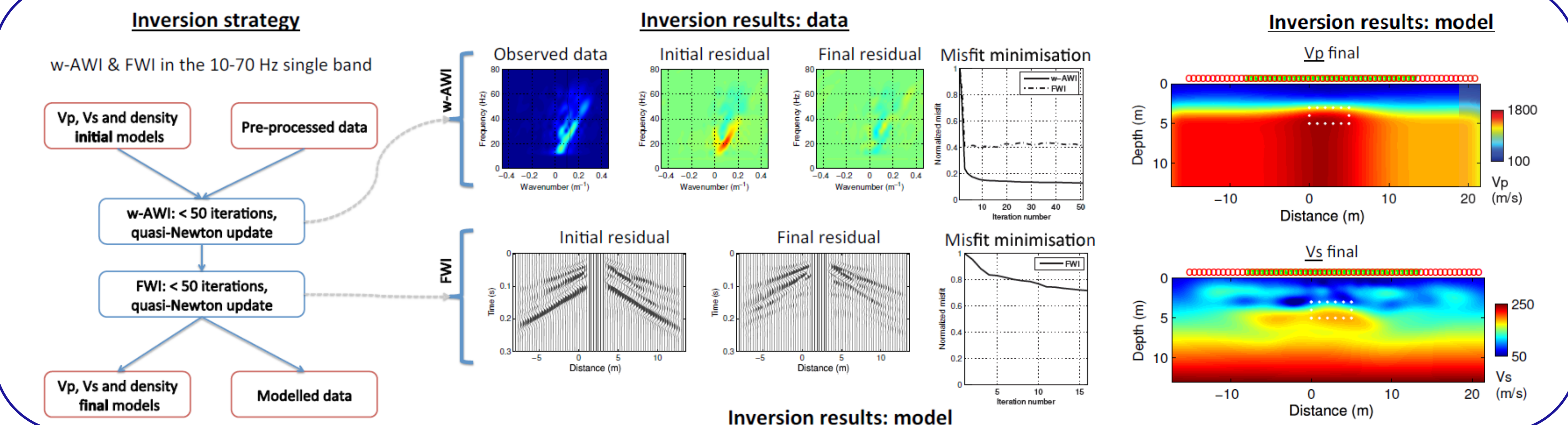
This test shows that w-AWI is more robust with respect to local minima than FWI.



## Real ground model



## Real data inversion



## Discussion

w-AWI & FWI recovered a high velocity body ( $\approx 200$  m/s) near the anomaly position. The expected velocity inversion below the structure was retrieved. Observations and recommendations from this real data application include:

- Find a better Vp initial model below the structure, as a velocity inversion below the structure imposes difficulties.
- The interface between the sediment and the concrete creates strong scattering leading to local minima problems.
- Noisy traces or interpolation could create inconsistencies in the data spectrum (it could have affected results).
- Non-modelled physical aspects: attenuation and 3D effects.

## Conclusions

We have applied a FWI-based inversion strategy, w-AWI & FWI, to real data in an ultra-shallow ground model. This approach works properly with synthetic data, however with real data we have encountered some difficulties.

For instance, the media here contains very-low velocity at the surface that is contrasted with a high-velocity concrete structure. This increases the difficulty to find an accurate starting model for inversion. Nonetheless, the data residuals show that the observed data is fairly well explained, at least for surface waves. This result is encouraging, but the final model can be improved if, for example, an initial Vs model is estimated using dispersion curve analysis prior to w-AWI & FWI.

## References

- Deidda, G.P. and Balia, R. [2001] An ultrashallow SH-wave seismic reflection experiment on a subsurface ground model. *Geophysics*, vol. 66, pp. 1097-1104.
- Pérez Solano, C.A., Donno, D. and Chauris H. [2014] Alternative waveform inversion strategy for surface wave analysis in 2D media. *Geophysical Journal International*, vol. 198 (3), pp. 1359-1372.
- Socco, L.V., Foti, S. and Boiero, D. [2010] Surface-wave analysis for building near-surface velocity models: Established approaches and new perspectives. *Geophysics*, vol. 75(5), pp. A83-A102.

## ABSTRACT

Migration Velocity Analysis aims at determining the long wavelength velocity model. Based on DSO (Differential Semblance Optimization), this method is automatic. However, its application remains limited by the presence of migration artifacts due to the spatial limitation of any acquisition surveys and to the non uniform illumination of the subsurface. We introduce here the quantitative migration to reduce these artifacts and analyze the obtained CIGs (Common Image Gathers) and gradients of the objective function with respect to the medium velocity, used in the iterative updates of the velocity model.

## QUANTITATIVE MIGRATION

### Weight added in the migration

Introduction of a weight in the data-domain objective function to make the Hessian resembles a Dirac function (Jin et al., 1992). Under micro-local analysis, the weight is:

$$W = \frac{\eta k}{(2p)^3 |k(\omega) S(\omega)|^2 A^2(s, x_0 - h_0) A^2(r, x_0 + h_0)}$$

Illumination compensation:

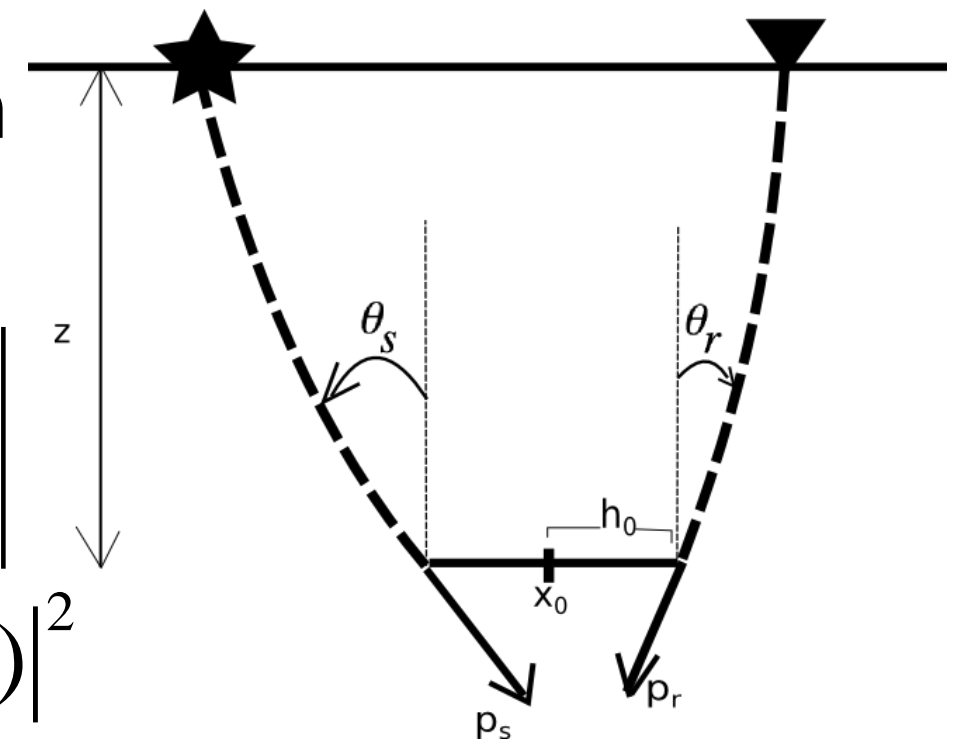
$$\left| \frac{\partial k}{\partial(s, r, \omega)} \right|$$

Source correction:

$$|\kappa(\omega) S(\omega)|^2$$

Amplitude correction:

$$A^2(s, x_0 - h_0) A^2(r, x_0 + h_0)$$



Parties prenantes



Auteurs

Lameloise Charles-Antoine

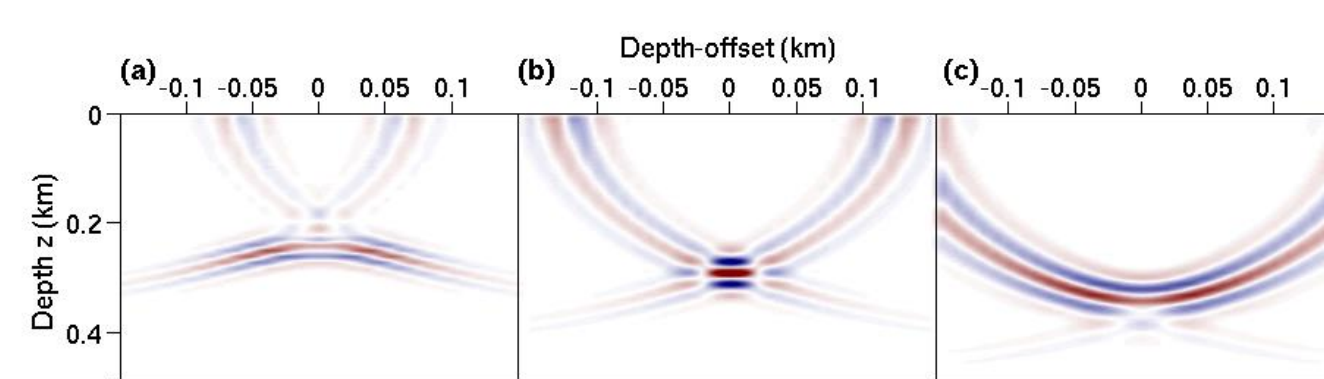
Chauris Hervé

Partenaires

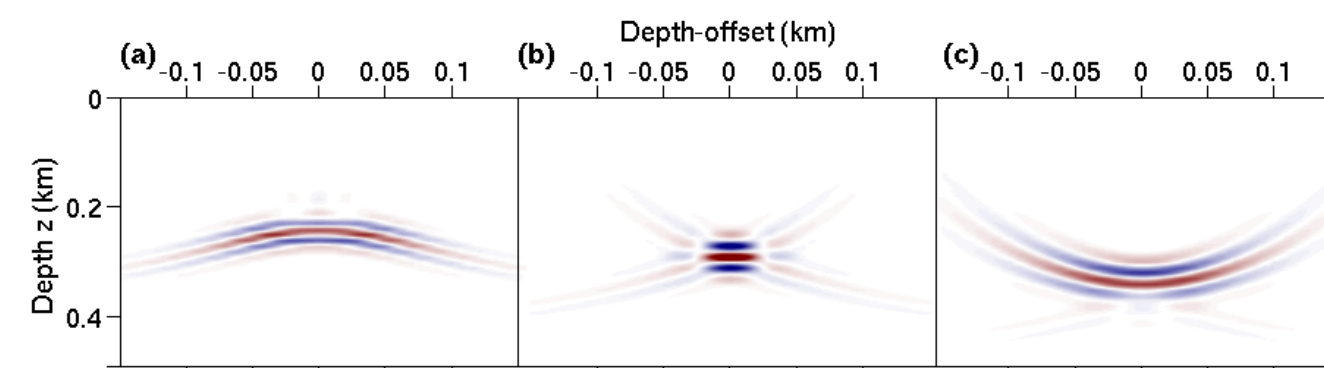


### Homogeneous one-layer model

Classical migration

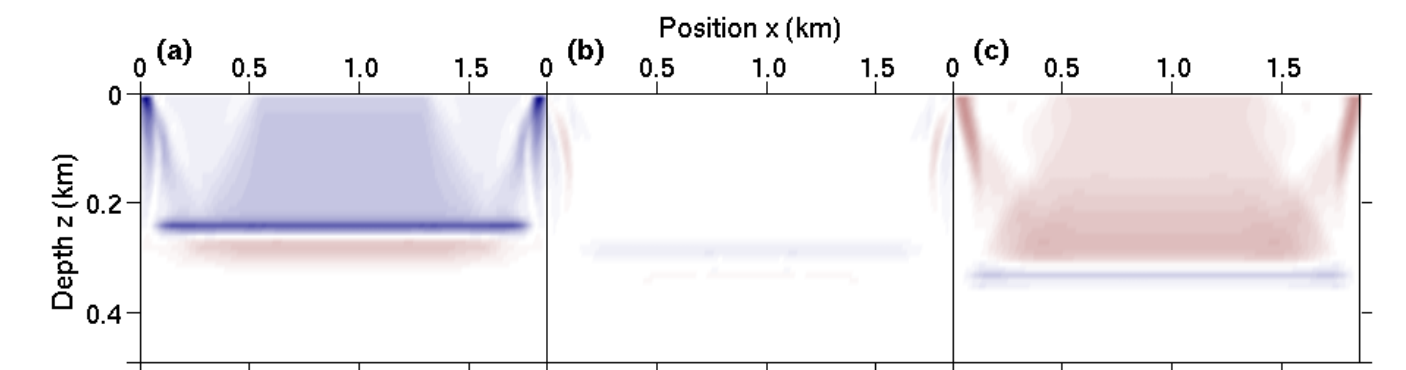


Quantitative migration

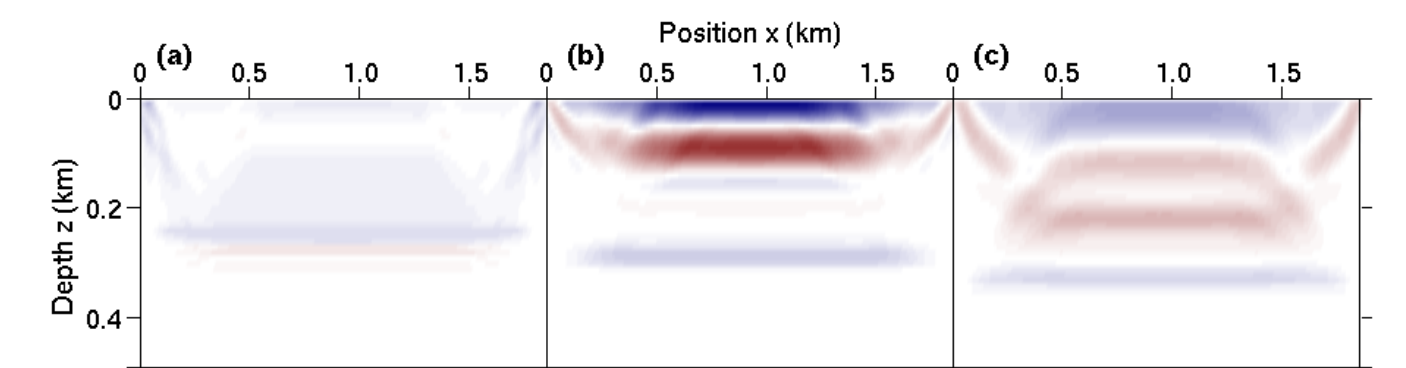


CIGs obtained using a lower migration velocity (left), the true migration velocity (middle) and a higher migration velocity (right).

Classical migration



Quantitative migration

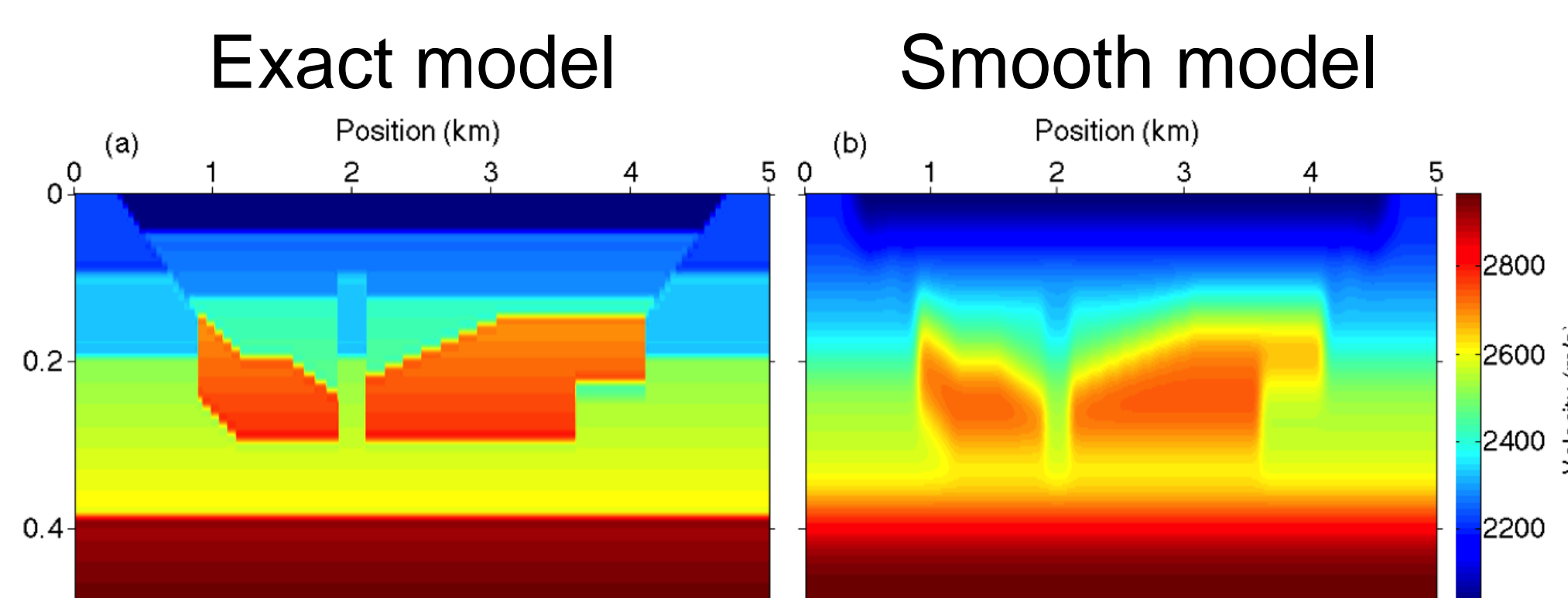


Gradients for a too low velocity (left), for the correct velocity (middle) and for a too high velocity (right). Blue: negative values, white: zero and red: positive

Removal of the artifacts

More homogeneous gradients

## INVERSION OF A HETEROGENEOUS MODEL

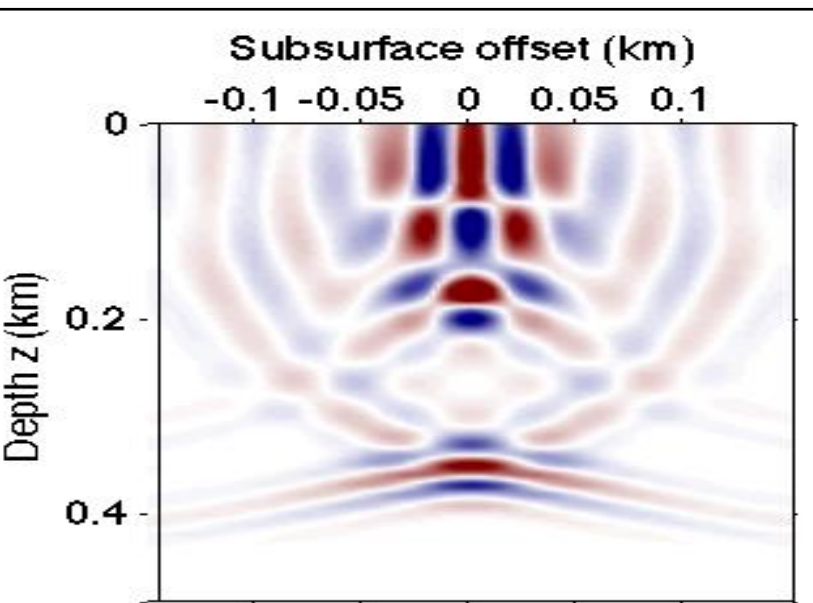
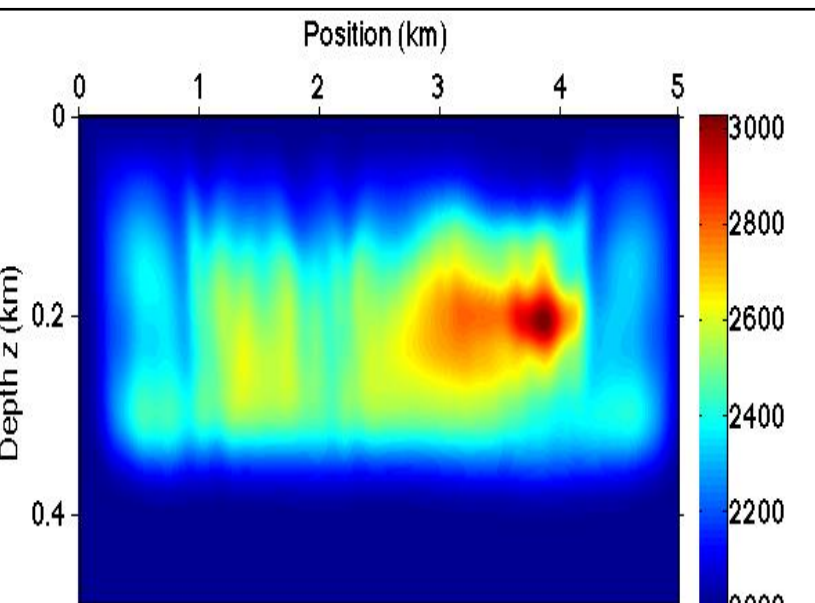
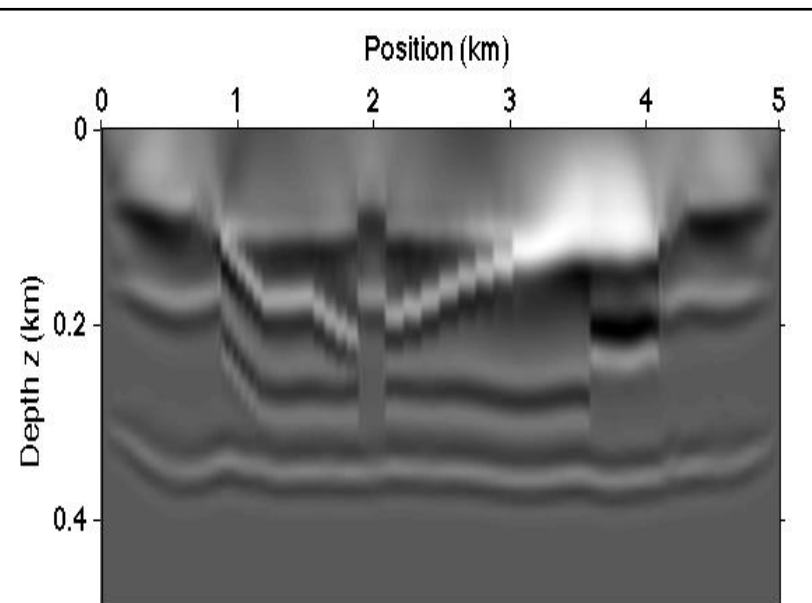
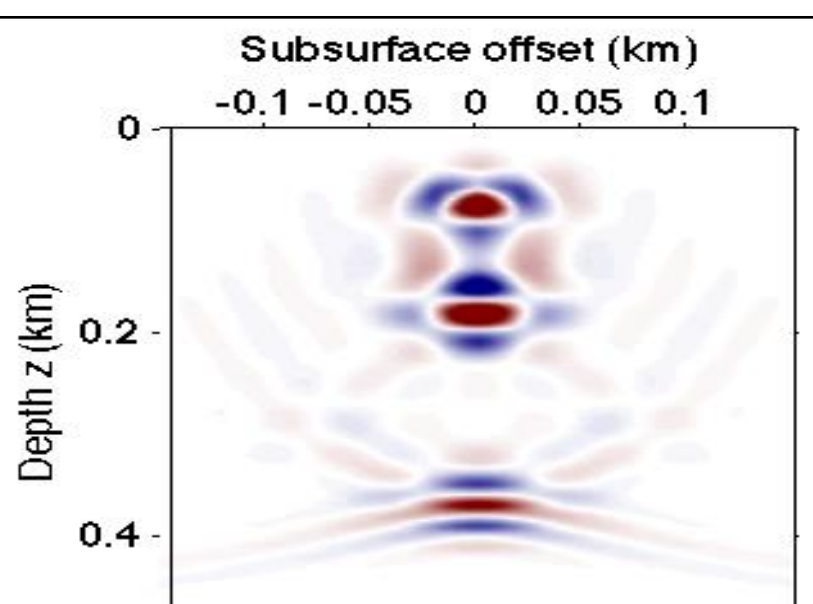
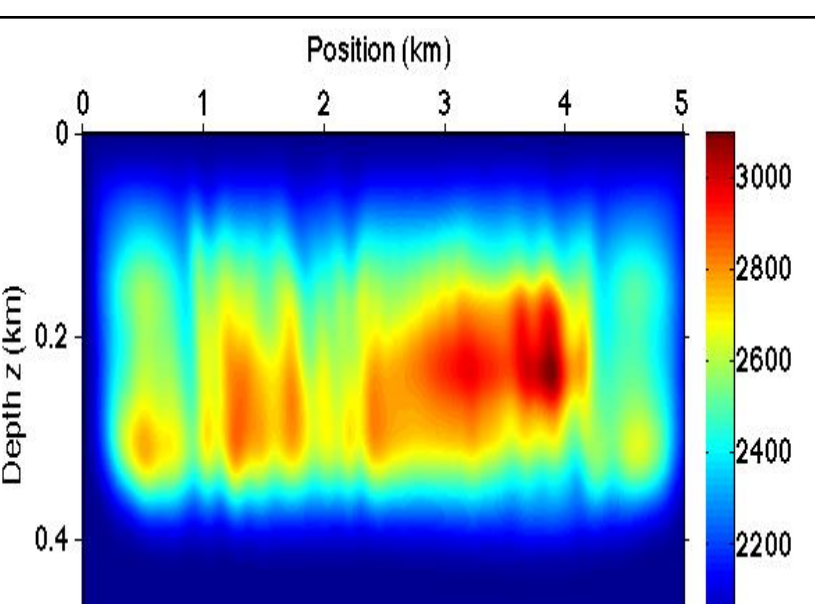
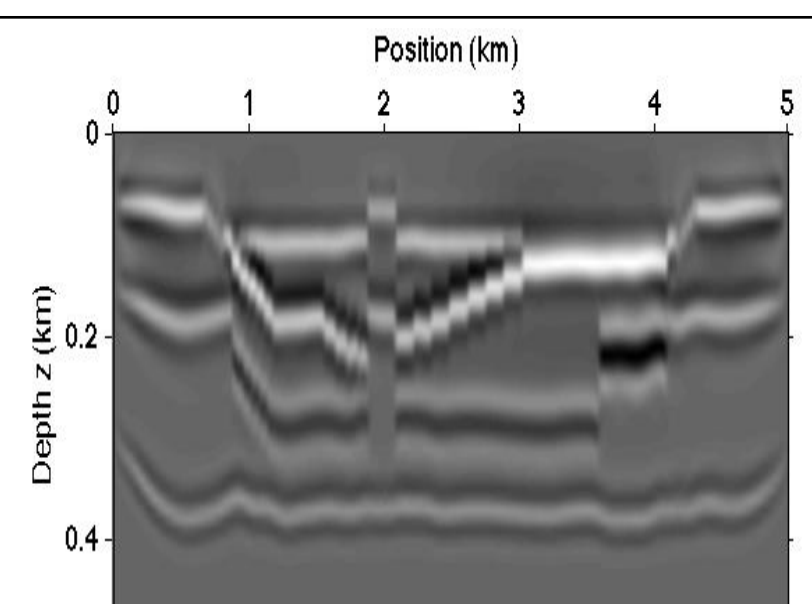


## CONCLUSION

With the introduction of the weight in the data-domain objective function, artifacts are considerably reduced and gradients are more homogeneous. In the more complex velocity model example, the first gradient of the image-domain objective function has a better penetration. CIGs are less perturbed by artifacts, leading to a better inversion.

## REFERENCE

Jin S., Madariaga R., Virieux J. and Lambaré G., 1992, Two-dimensional asymptotic iterative elastic inversion: *Geophysical Journal International*, **108**, 575-588.

	Final CIG at x=2km	Final velocity model	Migrated image
migration			
Classical migration			
Quantitative migration			

## Auteurs

Manon Vitel <sup>a</sup>  
 Ahmed Rouabhi <sup>a</sup>  
 Michel Tijani <sup>a</sup>  
 Frédéric Guérin <sup>b</sup>  
<sup>a</sup> MINES ParisTech  
 Centre de Géosciences  
<sup>b</sup> Areva Mines

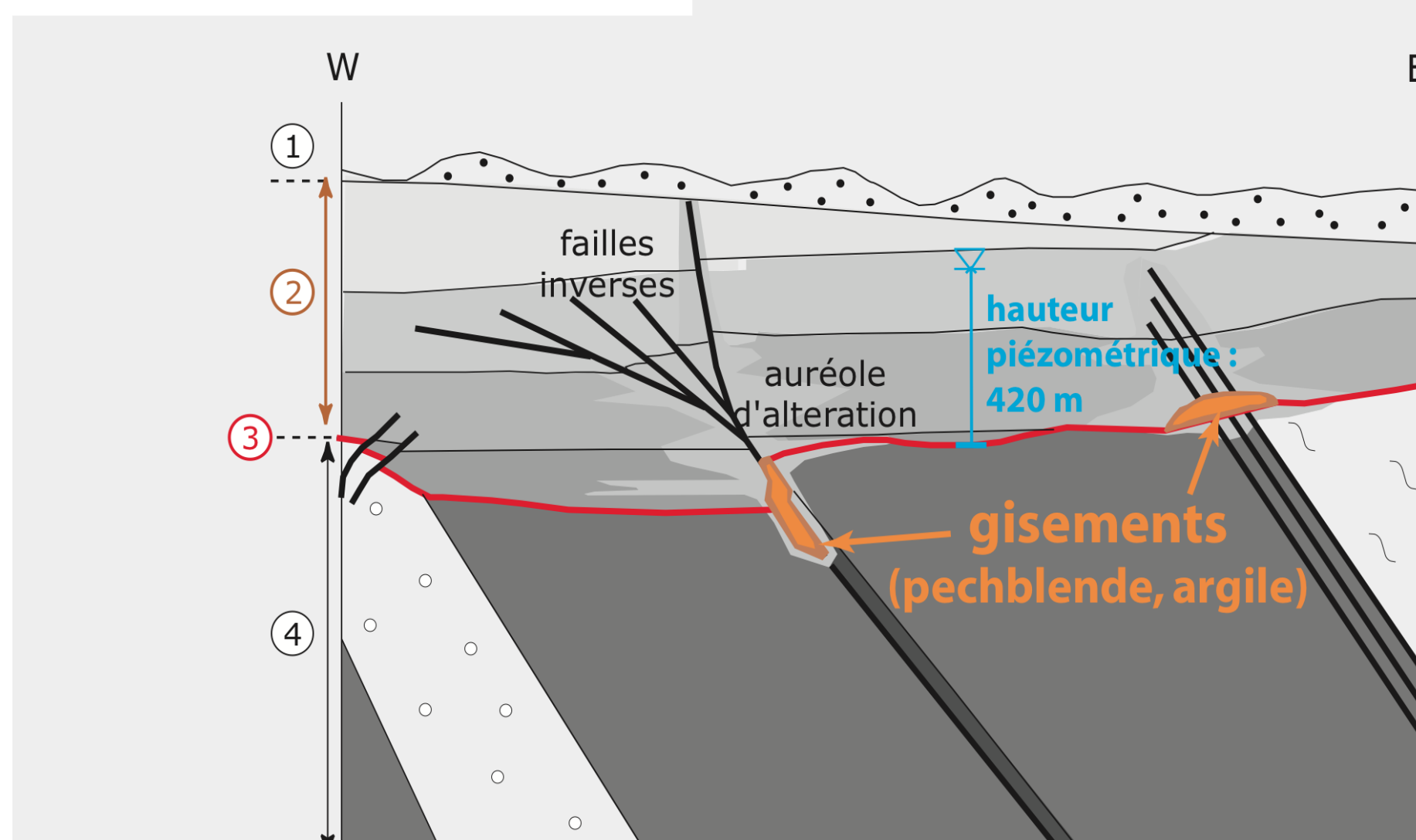
## Contexte

Les gisements d'uranium du Bassin de l'Athabasca se situent au niveau de la discordance entre le bassin sédimentaire et le socle ( $\approx 500\text{m}$  de profondeur), zone très fracturée et altérée.

Caractéristiques communes :  
 - teneur en uranium élevée ( $\approx 20\%$ )  
 - présence d'eau sous pression (roches du bassin saturées)  
 - faible résistance mécanique des terrains encaissants et du gisement.

Pour maîtriser ces difficultés et exploiter ces gisements, on emploie la technique de la congélation des terrains.

## Partenaires



- ① Moraines quaternaire
- ② Bassin sédimentaire mésoprotérozoïque (grès altérés, sable)
- ③ Discordance
- ④ Socle paléprotérozoïque & archéen (gneiss, schistes)

Coupe géologique schématique du Bassin de l'Athabasca

Le système de congélation de ces mines utilise de la saumure à  $-30^\circ\text{C}$  circulant en continu dans un réseau de tuyaux souterrain, au niveau du gisement.

## Objectifs du projet

- 1/ **Comprendre** les mécanismes thermiques et hydrauliques liés à la congélation des massifs rocheux et leurs interactions afin de mettre en place des modèles numériques.
- 2/ **Appliquer** ces modèles à la mine de Cigar Lake pour optimiser la technique.

## Couplage TH de la congélation en milieu poreux

### Approche phénoménologique

La **température de congélation de l'eau** contenue dans les pores d'un milieu poreux est **abaissée** par rapport à un milieu non confiné. De plus, toute l'eau d'un même milieu ne gèle pas à une température donnée mais sur une plage de température (en particulier à cause des différentes tailles de pores).

$\Rightarrow$  Il est possible de définir une **fonction d'état thermodynamique** qui lie, pour un terrain donné, le **degré de saturation en eau liquide**  $S_l$  à la température  $T$  et aux pressions  $p_l$  et  $p_g$  de l'eau liquide et de la glace.

### Modèle de couplage TH

Un **modèle de couplage thermo-hydraulique (TH)** basé sur la fonction  $S_l(p_l, T)$  a été **développé**, implémenté dans un code de calcul par éléments finis et **validé** par rapport à des essais expérimentaux issus de la bibliographie. Il permet la représentation de l'interaction des différents mécanismes TH.

### Hypothèses :

- milieu poreux saturé (squelette, eau liquide, glace)
- squelette rigide
- milieu poreux à l'équilibre thermique local ( $T_l = T_g = T_s$ )

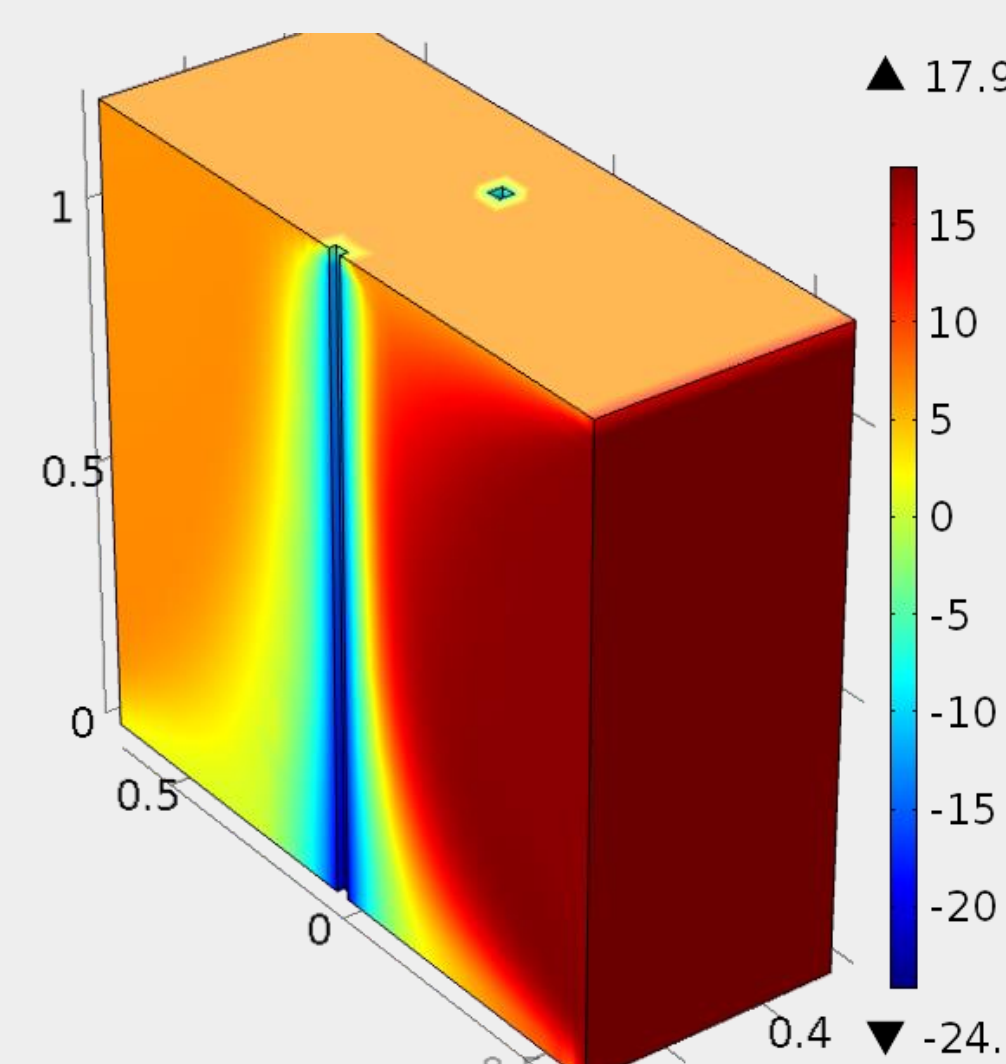
### Hydraulique

variation de température  
 > changement de phase (modification de la teneur volumique eau liquide / glace)  
 > modification de la perméabilité du terrain  
 > modification de la viscosité et de la masse volumique de l'eau  
 > écoulement de l'eau  
 $\Delta T \rightarrow \Delta \mu, \Delta k, \Delta \rho, \Delta \theta, \Delta \theta_g$

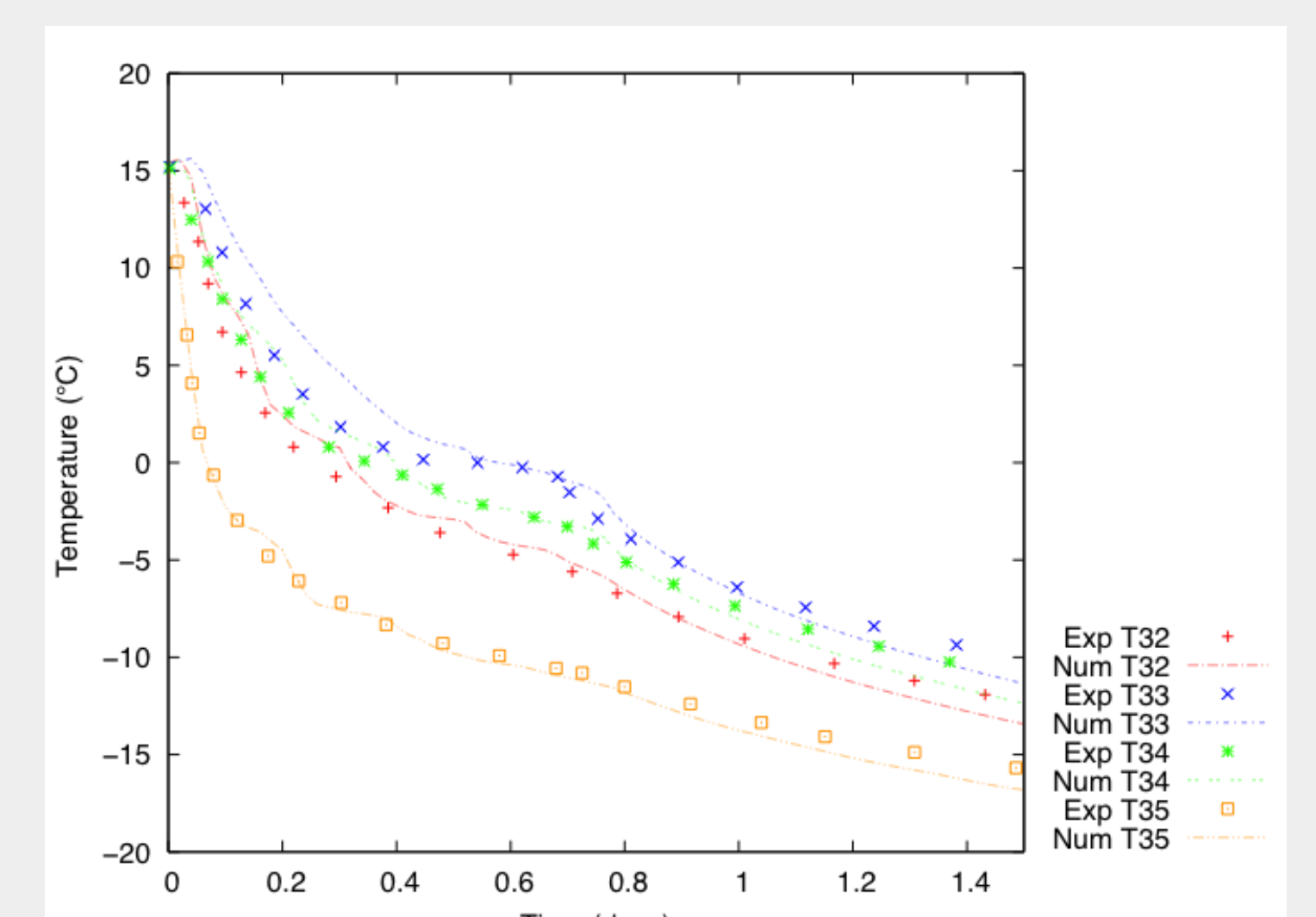
écoulement de l'eau (advection)  
 > transfert de chaleur par convection (en plus de la conduction)  
 $\Delta \phi \leftarrow \Delta v$

### Thermique

**Interactions des mécanismes TH lors de la congélation d'un milieu poreux**



Validation du modèle : température dans un échantillon soumis à un gradient hydraulique après 1 jour de congélation (gauche) et comparaison entre le résultat numérique et les mesures expérimentales de l'historique de la température en plusieurs points (droite)



## Optimisation de la technique de congélation

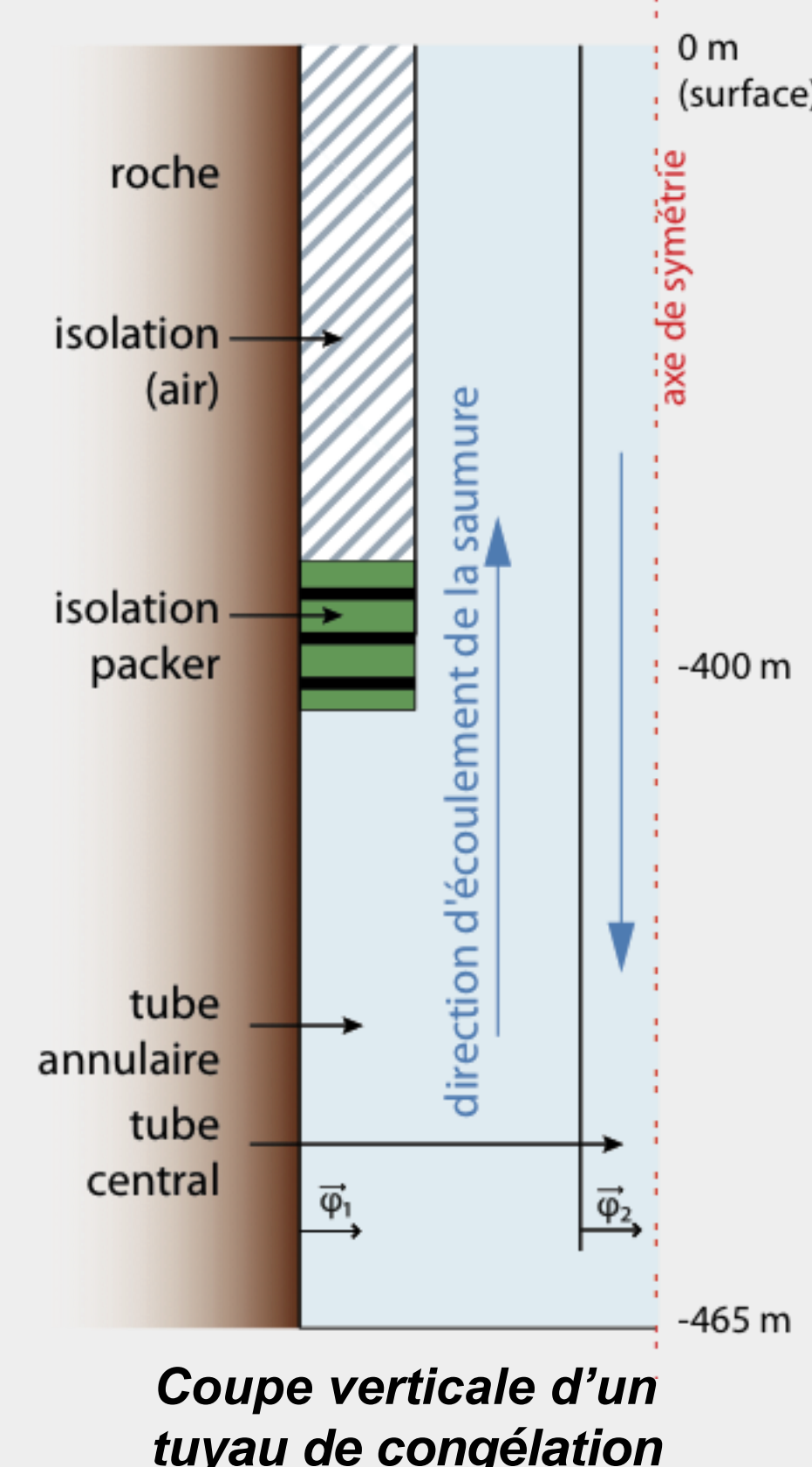
### Modélisation de l'écoulement de la saumure et des transferts de chaleur

Un programme de calcul numérique a été développé pour modéliser :

- l'écoulement de la saumure dans un tuyau de congélation
- les échanges de chaleur entre le tube central et le tube annulaire ainsi qu'entre le tube annulaire et le terrain.

Ce programme a été couplé au code de calcul par éléments finis CHEF pour modéliser la progression de la congélation dans le terrain. Les problèmes de transfert de chaleur dans le tuyau et dans le terrain sont réduits à des problèmes 1D, les temps de calculs étant ainsi bien diminués.

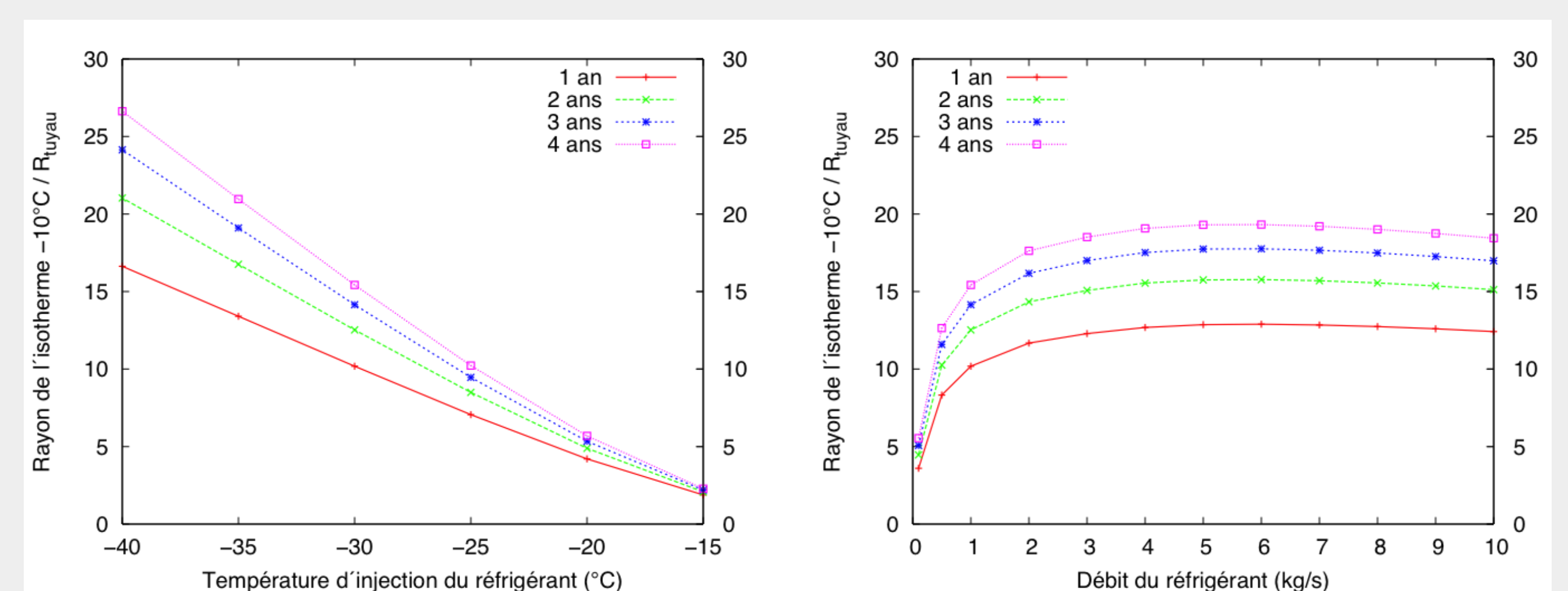
Deux utilisations possibles à ce modèle :  
 - déterminer les conditions aux limites au niveau du tuyau dans les modèles de congélation des terrains  
 - mener des études paramétriques pour optimiser les conditions de refroidissement.



Coupe verticale d'un tuyau de congélation

### Influence des consignes de refroidissement

Une étude paramétrique sur les conditions de refroidissement a été réalisée et permet de les optimiser.



Influence des conditions de refroidissement sur la progression de la congélation dans le terrain : exemples de la température d'injection (gauche) et du débit (droite) de la saumure

## Perspectives

Application du modèle au cas de la mine de Cigar Lake : études paramétriques pour déterminer l'influence :

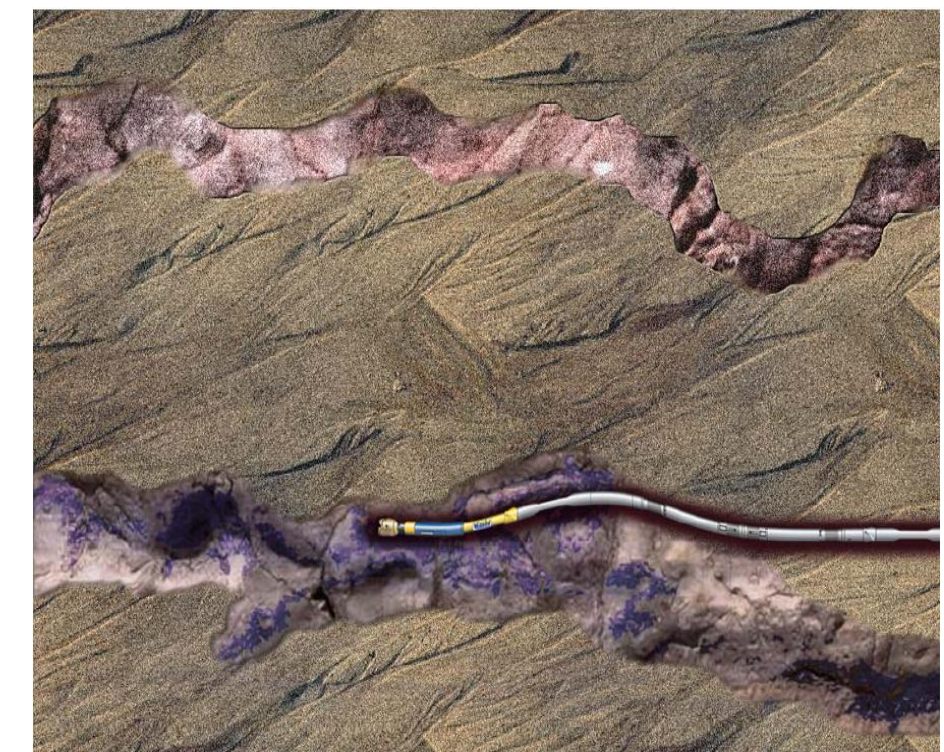
- des paramètres géométriques (espacement, rayon et disposition des tuyaux de congélation)
- des propriétés des terrains (propriétés thermiques et hydrauliques, porosité de pores et de fractures...)
- des conditions initiales des terrains (température et charge hydraulique)

## Objectifs

### Parties prenantes



- Développer une approche méthodologique et quantitative pour simuler le comportement mécanique d'un système de forage pétrolier dans son ensemble (du fond de trou jusqu'à la surface)
- Prédire les performances du système de forage en terme de vitesse de foration, de pilotabilité (direction) et de stabilité dynamique
- Analyser l'intégrité mécaniques du système de forage



## Méthodologie

L'approche est basée sur un couplage du processus de forabilité des roches profondes à différentes échelles avec le comportement mécanique de la structure de forage

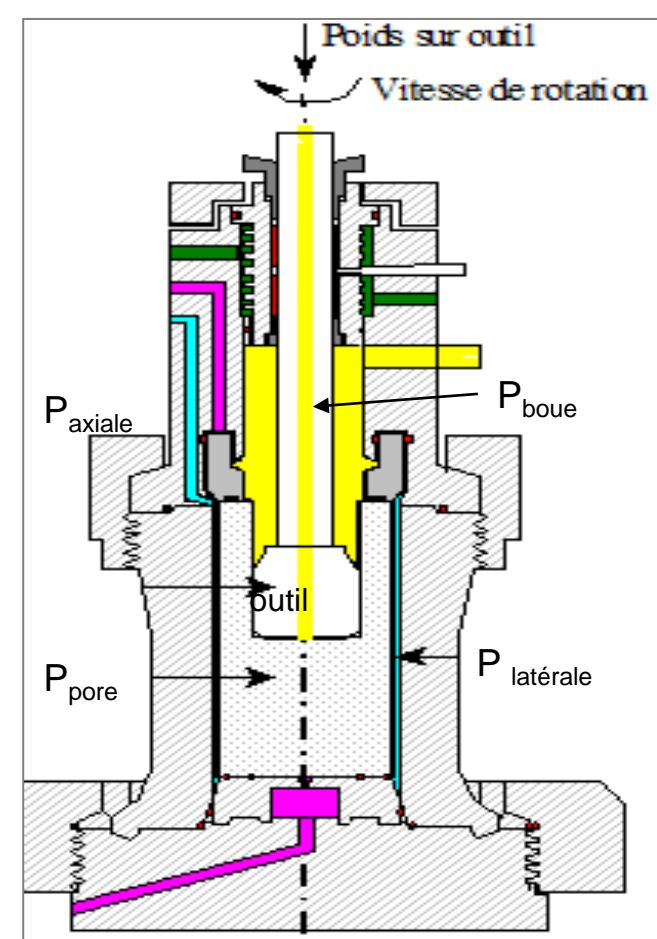
### Auteurs

Laurent GERBAUD  
Hedi SELLAMI



Banc de forage MINES ParisTech

### Partenaires

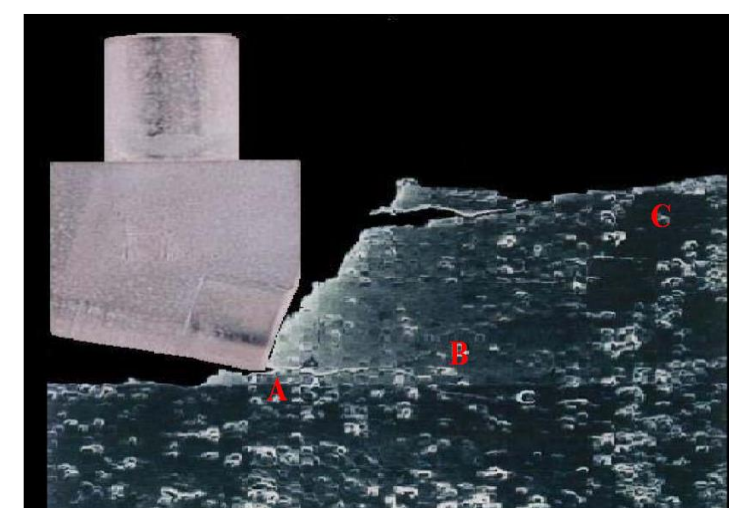


Cellule triaxiale de forage

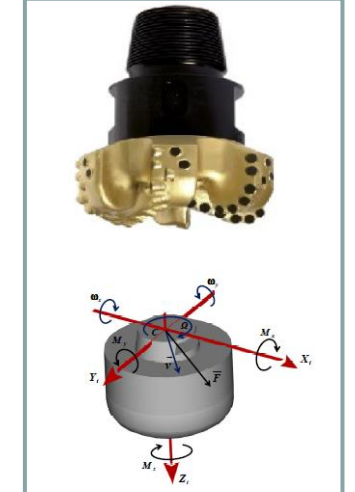
### Les différentes étapes de l'approche

- Modélisation de la coupe de la roche à l'échelle du taillant  
Compréhension du processus de forabilité de la roche à l'échelle élémentaire du taillant et évaluation des relations entre efforts de coupe et conditions de la roche en profondeur (dureté, pressions,  $t^\circ$ , ...)
- Modélisation du forage de la roche à l'échelle de l'outil  
Compréhension du processus de forabilité des roches à l'échelle de l'outil et formulation des lois reliant les efforts sur l'outil de forage à ses déplacements en 3 dimensions dans la formation rocheuse.  
Ce modèle Outil-Roche utilise les lois d'interaction à l'échelle du taillant.
- Modélisation du comportement mécanique de la structure de forage dans un puits à trajectoire complexe  
Utilisation d'un modèle intégré, couplant déformations-frottement-flambage en grandes déformations, sans hypothèses préalables sur les contacts et sans recours aux Eléments Finis.
- Couplage entre les modèles taillant-outil-structure de forage

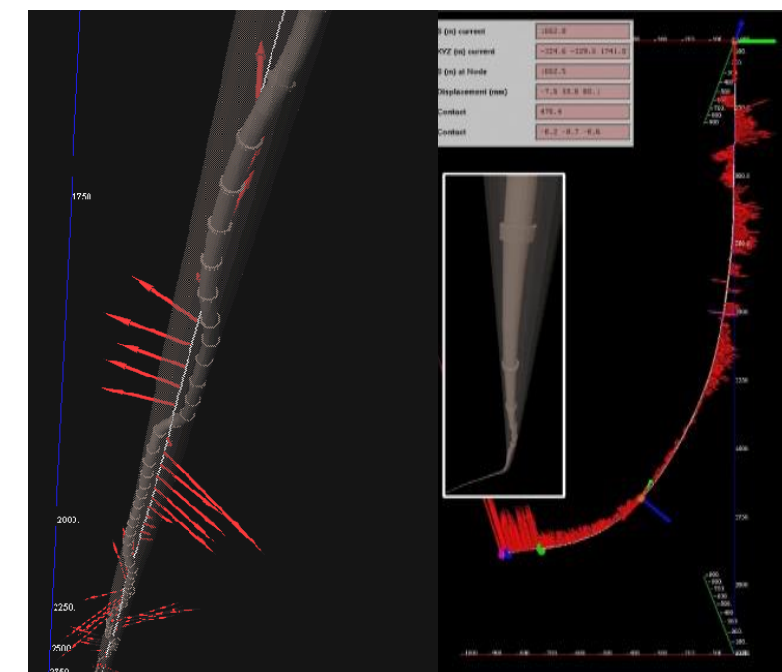
Interaction taillant-roche



Interaction outil-roche



Simulation du comportement mécanique d'un train de tiges à l'intérieur d'un forage



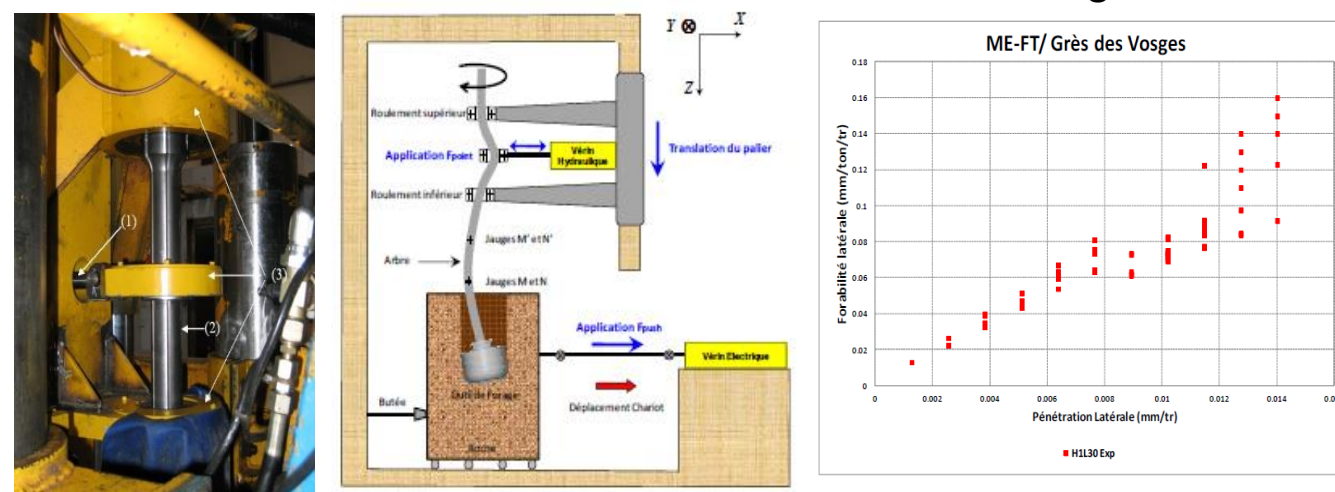
## Exemples d'applications industrielles

Conception de nouvelles générations d'outils de forage



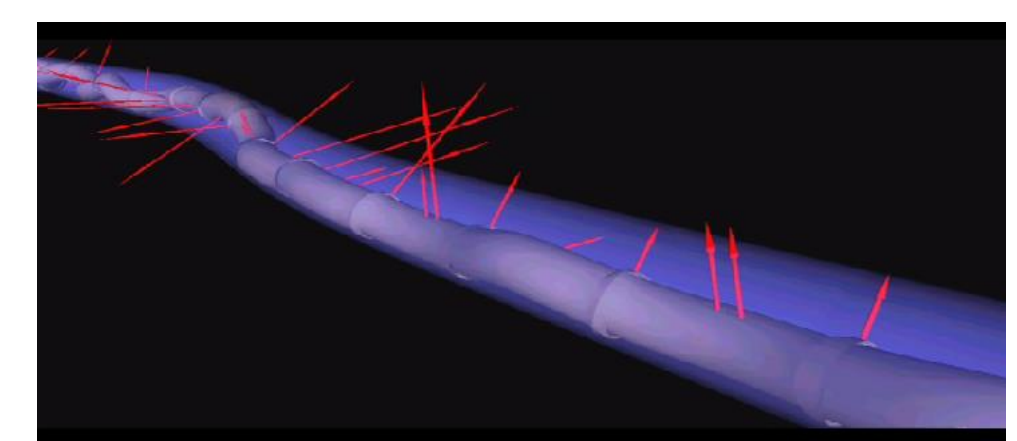
Test sur chantier de forage de l'outil auto-pénétrant (brevet MINES ParisTech)

Caractérisation du comportement directionnel de nouveaux systèmes de forage



Mise au point d'un dispositif pour évaluer les performances déviationnelles du système de forage

Prévision des trajectoires complexes de forage et analyse de l'intégrité mécanique du système



Simulation numérique couplée déformations-frottements-flambage

## Parties prenantes



## Une problématique globale

Déclinaison nationale sur des méta-régions

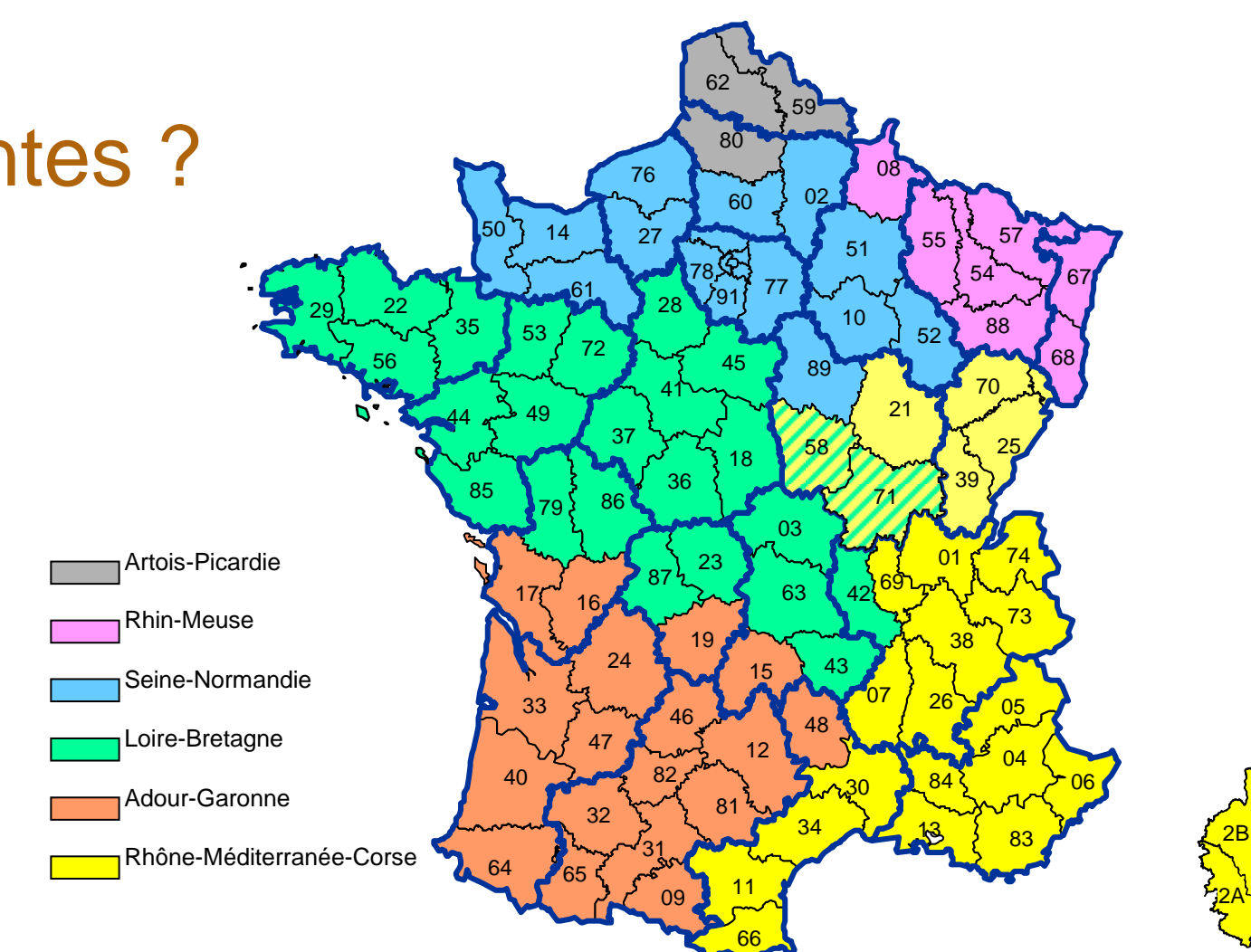
comment assurer les futurs approvisionnements en granulats tout en gérant les contraintes ?

Les enjeux

- ⇒ Recherche d'une stratégie claire pour l'ensemble des acteurs : producteurs, consommateurs, pouvoirs publics, société
- ⇒ Estimation de la contribution d'une action de développement sur la chaîne d'approvisionnement dans son intégralité

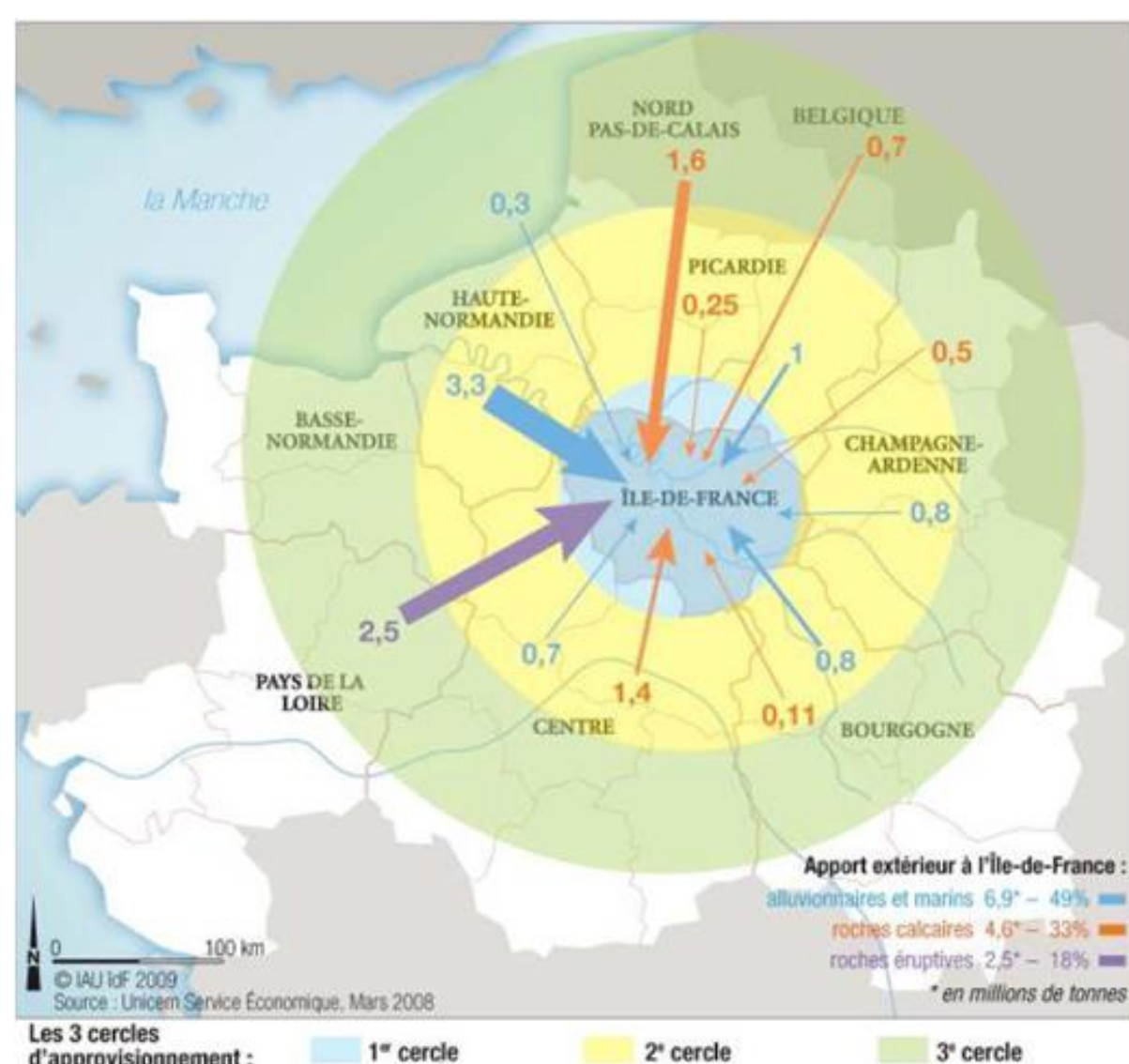
La démarche

- ⇒ Se démarquer de la pratique actuelle
  - ⇒ Ne pas se limiter à des inventaires
  - ⇒ Aller au-delà des extrapolations
  - ⇒ Considérer le marché globalement
- Anticiper l'effet des ruptures



## Auteurs

Jacques SCHLEIFER



## Vers une application régionale

Application à l'approvisionnement de l'Ile-de-France

région dépendante à 50 % des régions environnantes granulats marins accessibles via la Seine

1er potentiel en gisement secondaire en France

2ème producteur de granulats recyclés (2008)

projet Grand Paris

- pouvoir anticiper la répartition géographique des futurs besoins en granulats primaires
  - ⇒ « schéma des carrières » prospectif
  - en granulats secondaires
    - ⇒ « plan déchets BTP » prospectif
- ⇒ analyser localisation et flux (géographique, économique ...)

## Partenaires



## Développement d'un simulateur

Exploitation de divers formalismes d'outils d'aide à la décision

Développement d'outil d'analyse prospective pour aide à la planification des enjeux (échelle régionale) sur 30 ans

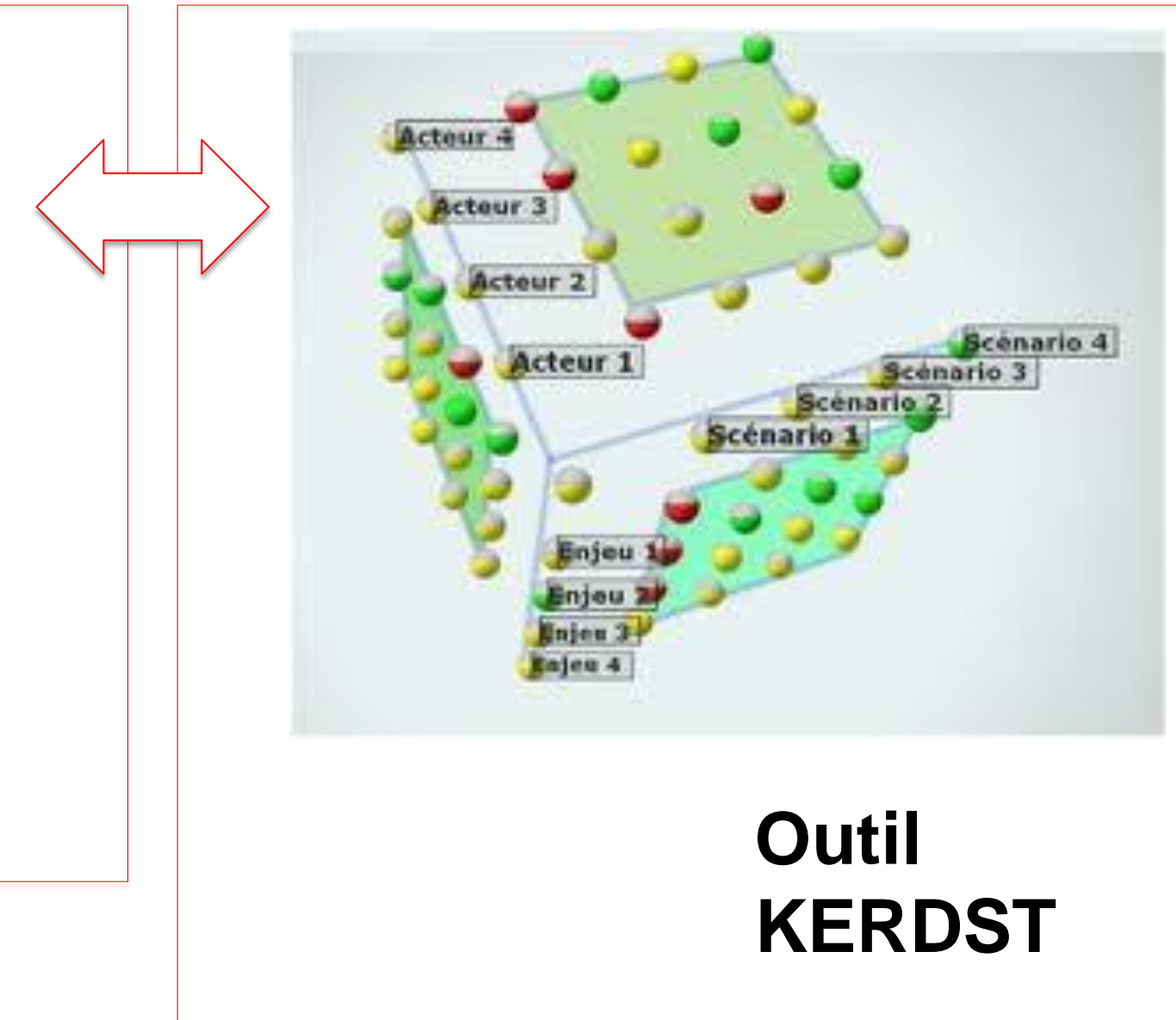
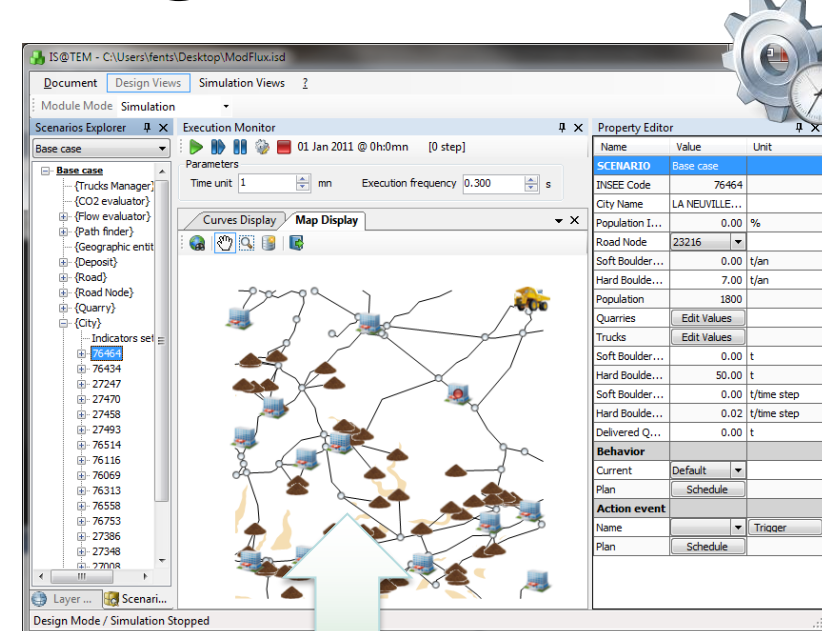
Outil de pilotage et visualisation spatiotemporelle de scénarios

Mise en œuvre des Systèmes Dynamiques

... Mise en œuvre des jeux sérieux ('serious game')

par combinaison de Système-Multi-Agents, Matrice de Délibération, ACV

### Outil de simulation prospective IS@TEM



Outil  
KERDST

## OBJECTIFS & METHODES

### Auteurs

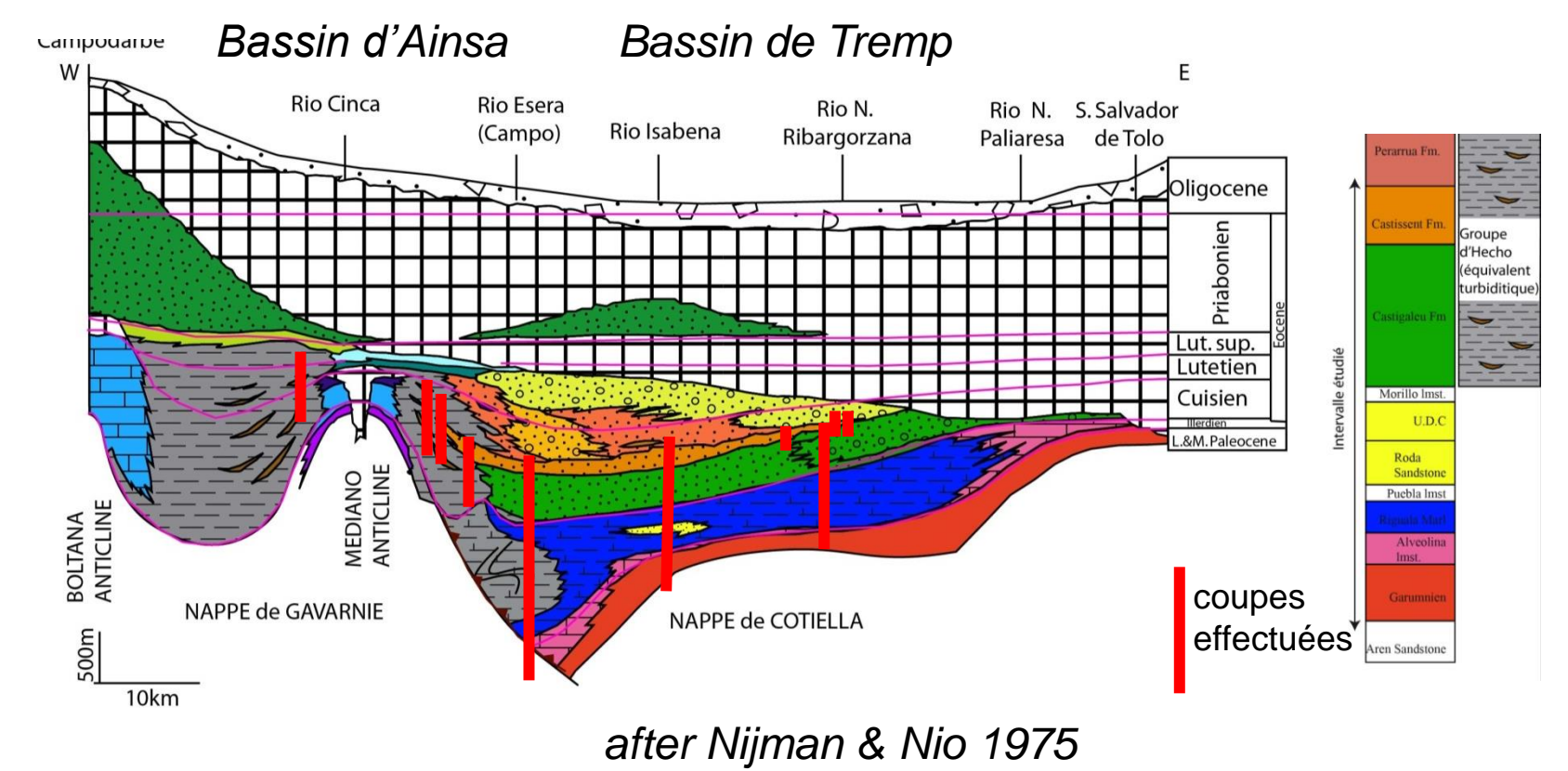
E. CHANVRY (1,2, 3)  
 P. JOSEPH (1)  
 R. DESCHAMPS (1)  
 D. GARCIA (2)  
 J. MOUTTE (2)  
 S. TEINTURIER (3)

### La distribution minérale

- Pour un système silicoclastique, la distribution minérale enregistre des évolutions tectoniques (sources, exhumation), climatiques, et constitue le préalable à une évolution diagénétique.
- Cette distribution est documentée dans un cadre séquentiel sur un bassin d'avant pays : le domaine Sud Pyrénéen (Eocène) le long d'un profil amont-aval comportant des dépôts continentaux (bassin de Tresp), transitionnels et marins profonds (turbidites, bassin d'Ainsa).

### Quantification

- Les méthodes utilisées traditionnellement sont la pétrographie (sables) et la DRX.
- Elles sont précédées et guidées ici par une analyse géochimique systématique de tous les faciès sédimentologiques reconnus.



1- IFP Energies Nouvelles, 1-4 avenue de Bois Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France.  
 2- Ecole des Mines de St. Etienne 158 Cours Fauriel - 42023 Saint-Etienne, France.  
 3- TOTAL, CSTJF, Avenue Larribau, 64018 Pau

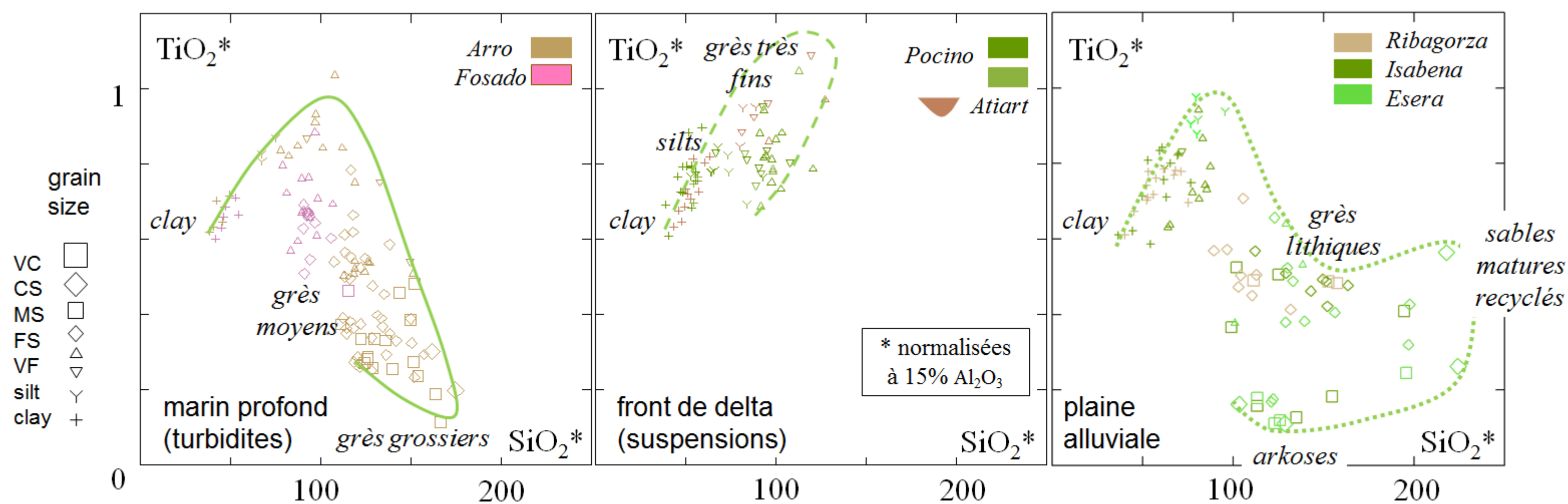
### Partenaires



## SEGREGATIONS PARTICULAIRES

### Variabilité primaire

- Utilisée comme outil de screening, la géochimie en roche totale met en lumière le tri particulaire plutôt que la provenance du sédiment. La répartition des faciès par environnement est illustrée pour le Cuisien.

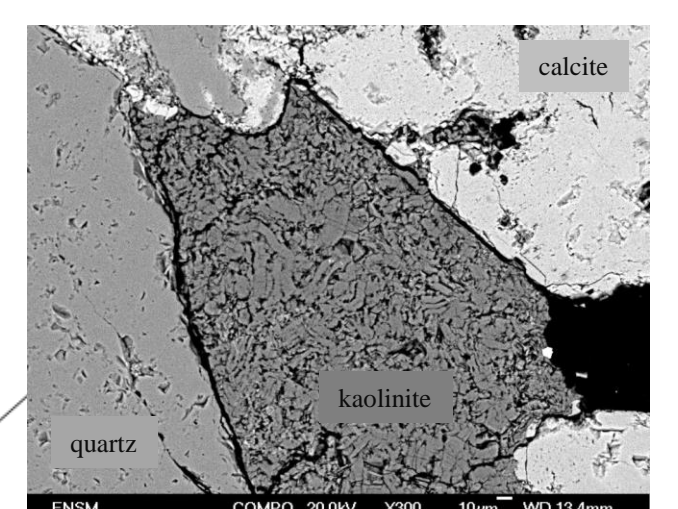
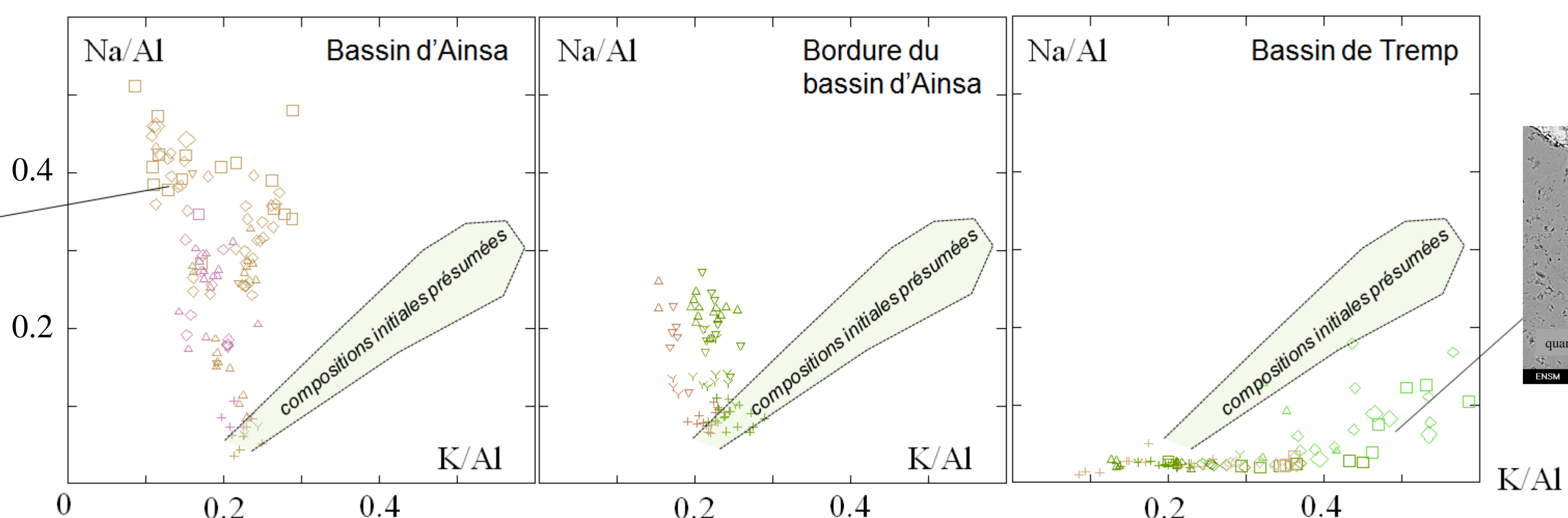
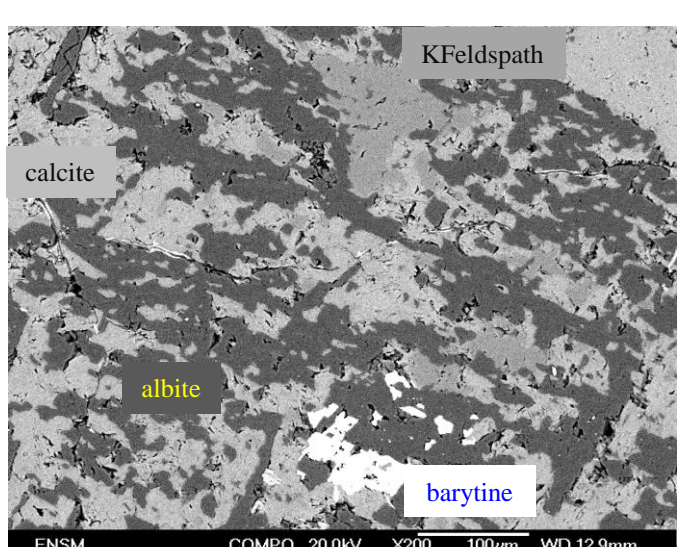


- La ségrégation hydraulique entre particules est plus efficace dans le domaine amont: elle reflète des sources contrastées (socle, sédiments recyclés)
- Ces variations sont robustes par rapport aux transformations diagénétiques

## MINERALOGIE DIAGENETIQUE

### Transformations des feldspaths

- Les plagioclases sont kaolinisés dans le bassin de Tresp (Na lessivé). Le feldspath potassique est albitisé dans le bassin d'Ainsa (dôme salin)







## **2. STOCKAGE SOUTERRAIN ET RECYCLAGE**



**MOTS CLÉS :** Énergie et Ressources Renouvelables, Biomasse et Co-produits, Résidus Industriels, Bio-raffinerie, Caractérisation et Contrôle des Emissions, Bilan Carbone, Conception et Développement de Procédés Durables

## Parties prenantes

Centre RAPSODEE UMR CNRS 5302



## Partenaires

Labex

Equipex



## Partenaires institutionnels



## Principaux partenaires industriels



## Partenaires universitaires Internationaux :



## Pôles de compétitivité



## COMPÉTENCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Le centre RAPSODEE est structuré en deux groupes (Poudres et Procédés, Énergétique-Environnement). **Les compétences du Groupe Énergétique-Environnement** concernent la production de vecteurs énergétiques et de matériaux à propriétés contrôlées, en développant des procédés à haute efficacité énergétique et environnementale. Ces processus sont réalisés à partir de biomasse issue de cultures dédiées ou de biomasse résiduaire plus ou moins contaminées par des polluants métalliques et/ou organiques. Dans le cadre des investissements d'avenir le centre RAPSODEE a obtenu le label **Laboratoire d'excellence (LABEX SOLSTICE, Science et Conversion de l'Énergie)** avec le Laboratoire PROMES CNRS à Odeillo (porteur) et l'Université de Montpellier, et aussi le label **EQUIPEX** avec le CEA Grenoble et le CIRAD Montpellier.



Réacteurs à Flux Entraîné  
pilotes



Prototype pour le séchage  
en vapeur d'eau surchauffée

## THÉMATIQUES DE RECHERCHE

- **Fractionnement et séchage de biomasse humide**  
Séchage par ébullition, contact avec agitation, friture, intégration énergétique (pinch), propriétés contrôlées, composition contrôlée, cohésion, adhésion et écoulement des pâtes, pressage assisté thermiquement
- **Fonctionnalisation de co-produits et résidus solides**  
Résidus solides, biomasse résiduaire, pyro-gazéification, interactions solide / fluide, propriétés contrôlées, composition contrôlée, polluants inorganiques
- **Conversion thermochimique de co-produits, biomasse et résidus organiques**  
Pyrolyse, gazéification, combustion, torréfaction, interactions gaz-solide, interactions et développement de surface
- **Transfert radiatif - Solaire à concentration**  
Méthodes de Monte-Carlo, calculs de sensibilités, milieux diffusants, chambres de combustion, optiques de Fresnel, récepteurs solaires
- **Méthodes inverses et Efficacité énergétique**  
Traitement d'images IR, méthodes Bayésiennes, assimilation de données, optimisation globale, construction durable.

## SECTEURS D'ACTIVITES

Industries à forte intensité énergétique (cimenteries, producteurs d'énergie, les équipementiers et utilisateurs du séchage, de la pyrolyse, de l'incinération, de la combustion, de la gazéification), éco-industries impliquées dans le traitement et la valorisation des co-produits et résidus solides ou à forte teneur en solides, ou de biomasse solide; chimie de spécialité; industriels dans le domaine du bâtiment.



Prototype solaire  
à concentration

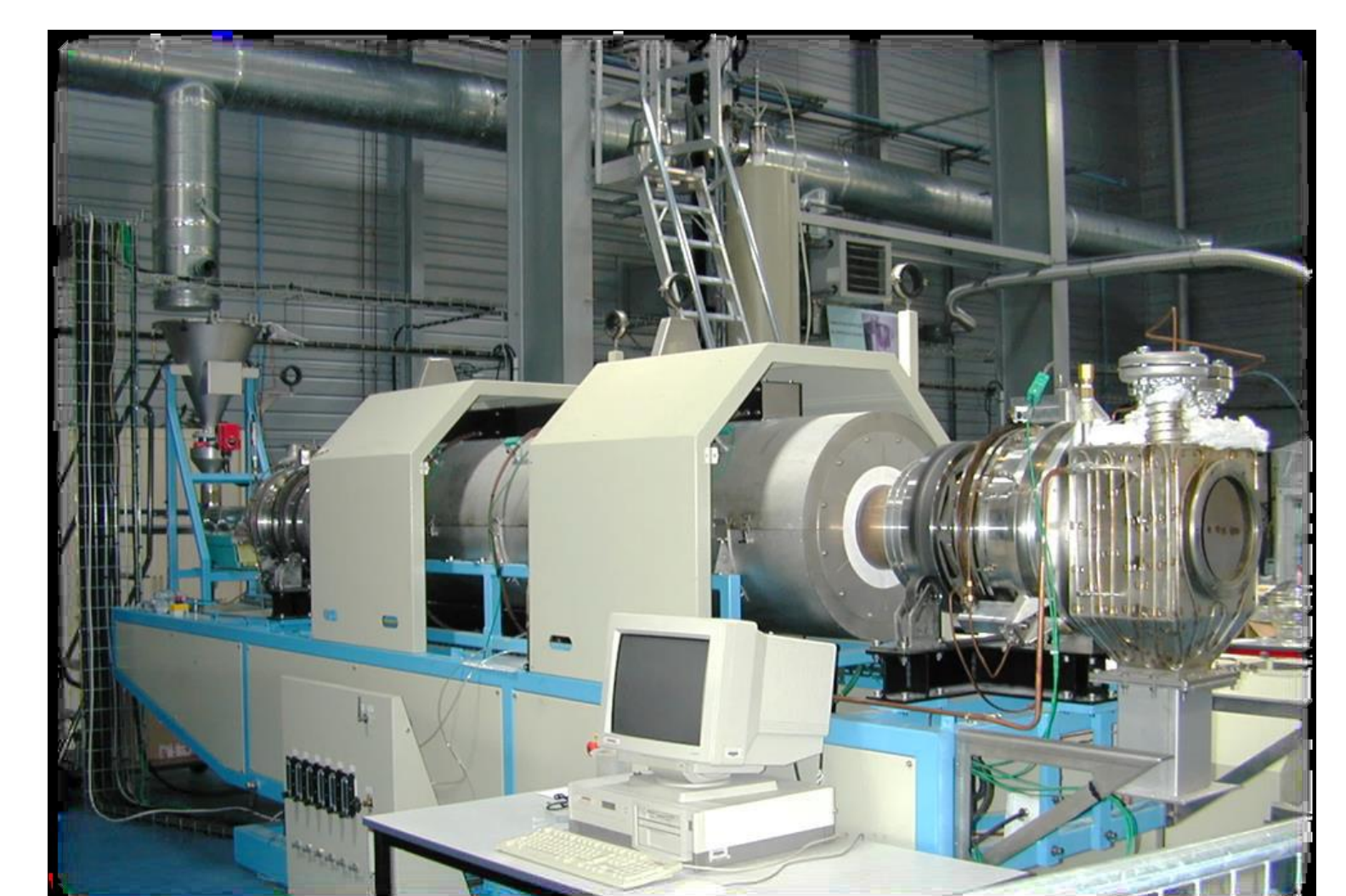
## PLATEFORMES R&D ET MOYENS TECHNIQUES

**Val-ThERA** (Plateforme de Valorisation ThErmique des Résidus et Agroressources)

**EQUIPEX (GENEPI - Gasification Equipment for New Energy dedicated to a Platform of Innovation)** piloté par le CEA (LTB/DTBH/LITEN) en collaboration avec le CIRAD (Montpellier).

**Maquettes et pilotes :**

- Boucle de séchage
- Maquette de séchage conductif de boues avec agitation
- Réacteurs à Flux Entraîné
- Cellule de combustion de milieux granulaires poreux
- Pilote de traitement des fumées
- Pilote lit fluidisé
- Pilote de vapo-thermolyse
- Four tournant
- Plusieurs dispositifs de caractérisation et de mesure



Four tournant pilote

## Parties prenantes



## LES DÉCHETS MINIERES (« TAILINGS »)

### Une thématique mondiale

- L'exploitation et le traitement des minerais métalliques génèrent des tonnages importants de déchets miniers : stériles et « tailings »,
- Les stériles sont bruts (roches de recouvrement, de creusement...),
- Les « tailings » résultent du traitement du minerai,
- Leur minéralogie dépend de la nature du minerai,
- Exemple de minerais Pb-Zn de Bulgarie: « tailings » composés majoritairement de quartz ( $\text{SiO}_2$ ), d'orthoclase ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) et d'albite ( $(\text{Na,Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ).



Remplissage d'une vallée par des résidus de traitement du minerai (« tailings »), mine de Erma Reka, Bulgarie

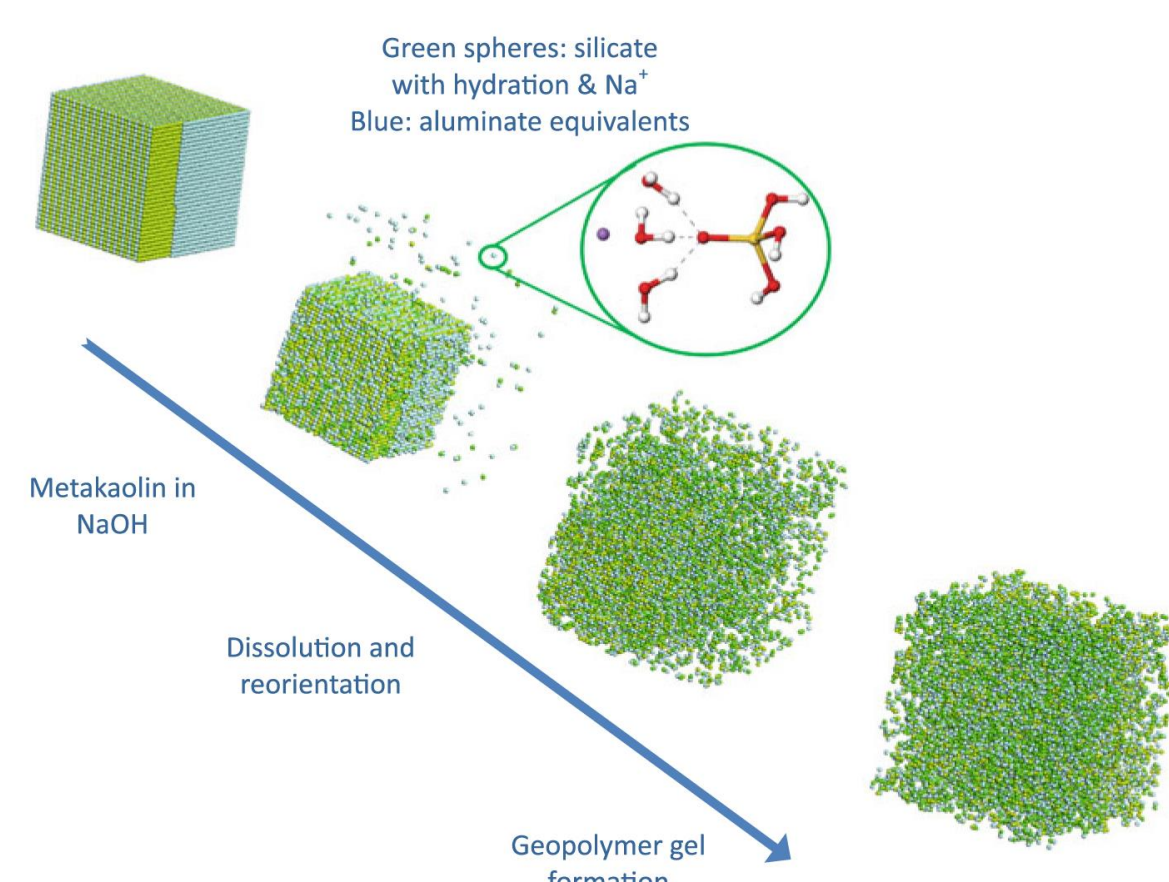
## Auteurs

Vincent THIÉRY  
Thomas KERESTEDJIAN

## GÉOPOLYMÈRES

### Un matériau du futur ?

- « Polymères » à base de géomatériaux, équivalents amorphes des zéolites,
- Obtenus par attaque alcaline de matériaux silico-alumineux déstructurés,
- Dissolution et « polymérisation »: durcissement,
- Excellente résistance tant mécanique que thermique,
- Synthèse à température ambiante.



Modèle conceptuel de géopolymérisation  
Provis, 2013

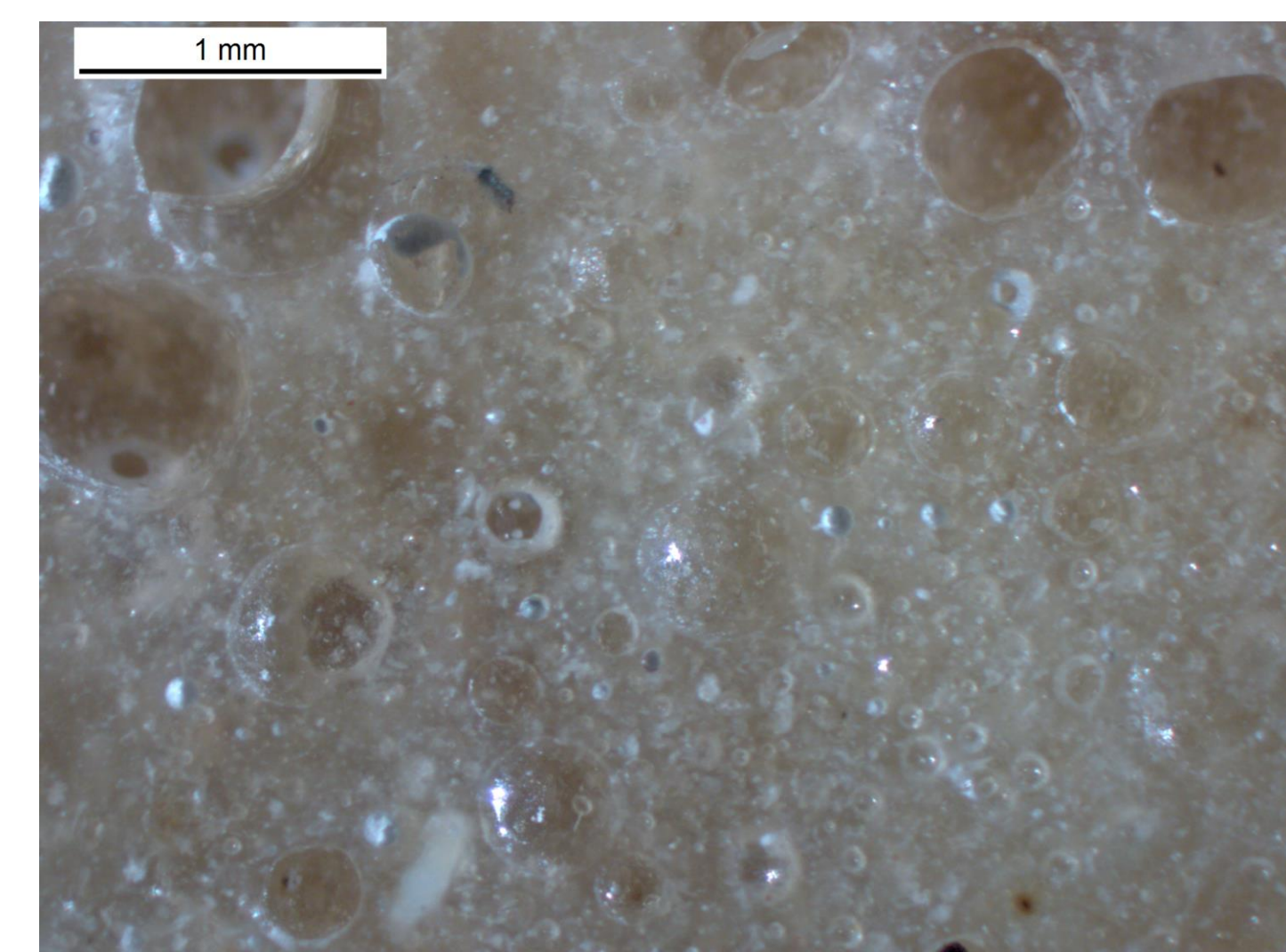
## Partenaires



## GÉOPOLYMÈRES A BASE DE « TAILINGS »

### Des résultats prometteurs

- Les « tailings » ont une chimie et une minéralogie appropriée,
- Après chauffage à  $1000^\circ$  : déstructuration,
- Attaque alcaline en faisant également varier le ratio Si/Al par divers ajouts,
- « Mousse » solidifiée, insoluble.



Géopolymères poreux à base de « tailings »

## Solutions de stockage pour les déchets radifères

### Déchets radifères

- Déchets historiques provenant de l'exploitation de minerais et de la dépollution d'anciens sites industriels ayant utilisé le radium
- Faible activité (moyenne 60 Bq/g) – Vie longue (demie vie > 31ans)
- Teneurs en éléments chimiques toxiques ; essentiellement Plomb, Bore, Uranium, **Arsenic et Chrome**

### Solution de stockage

- En faible profondeur, Sous Couverture Remanié (SCR)
- **Environnement argileux**

### Fonctions de sureté du stockage

- Isoler les déchets de l'homme et de la biosphère
- Limiter la circulation de l'eau
- **Limitier le relâchement des toxiques chimiques et des radionucléides et atténuer leurs migrations par voie aqueuse**

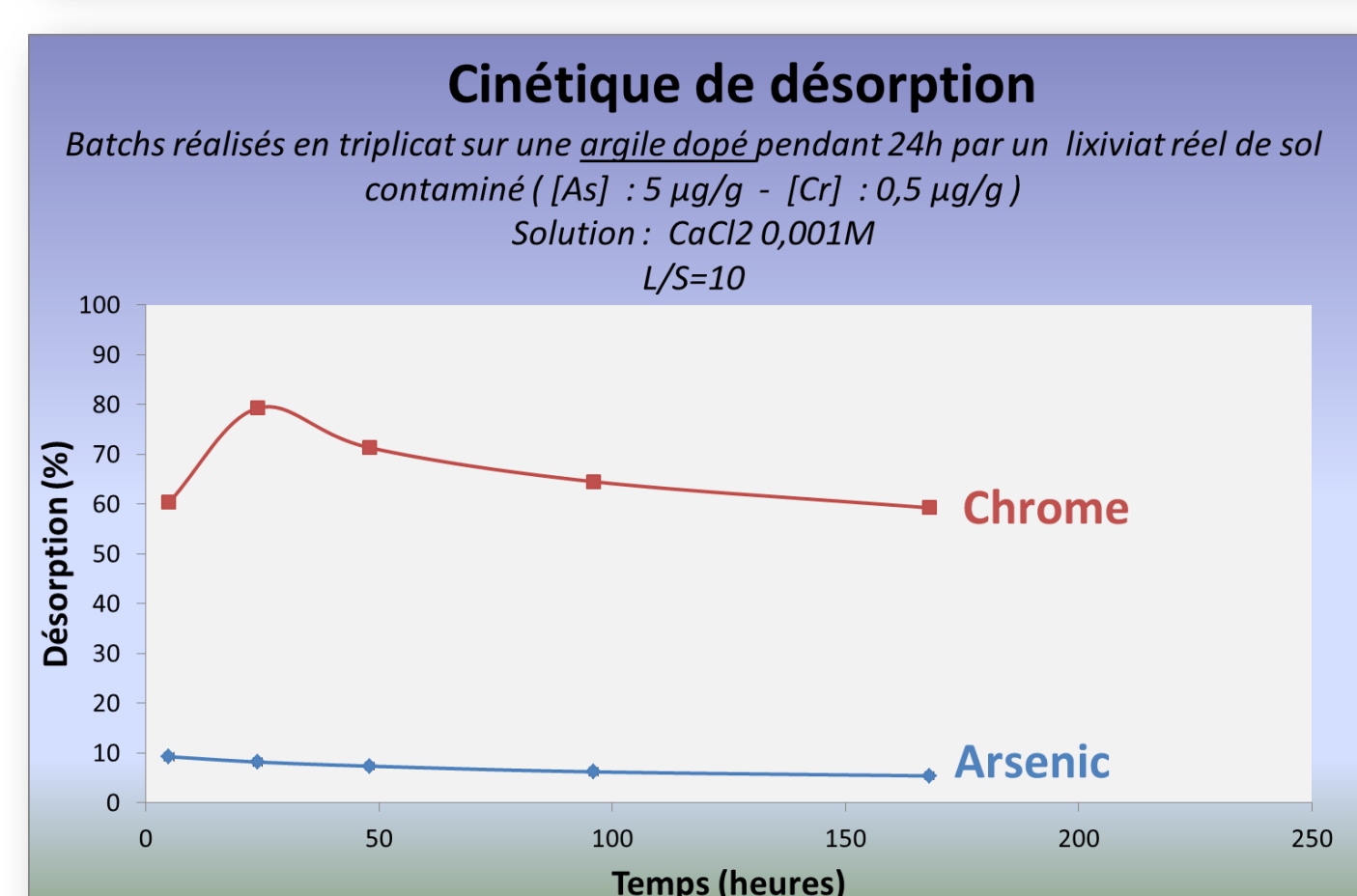
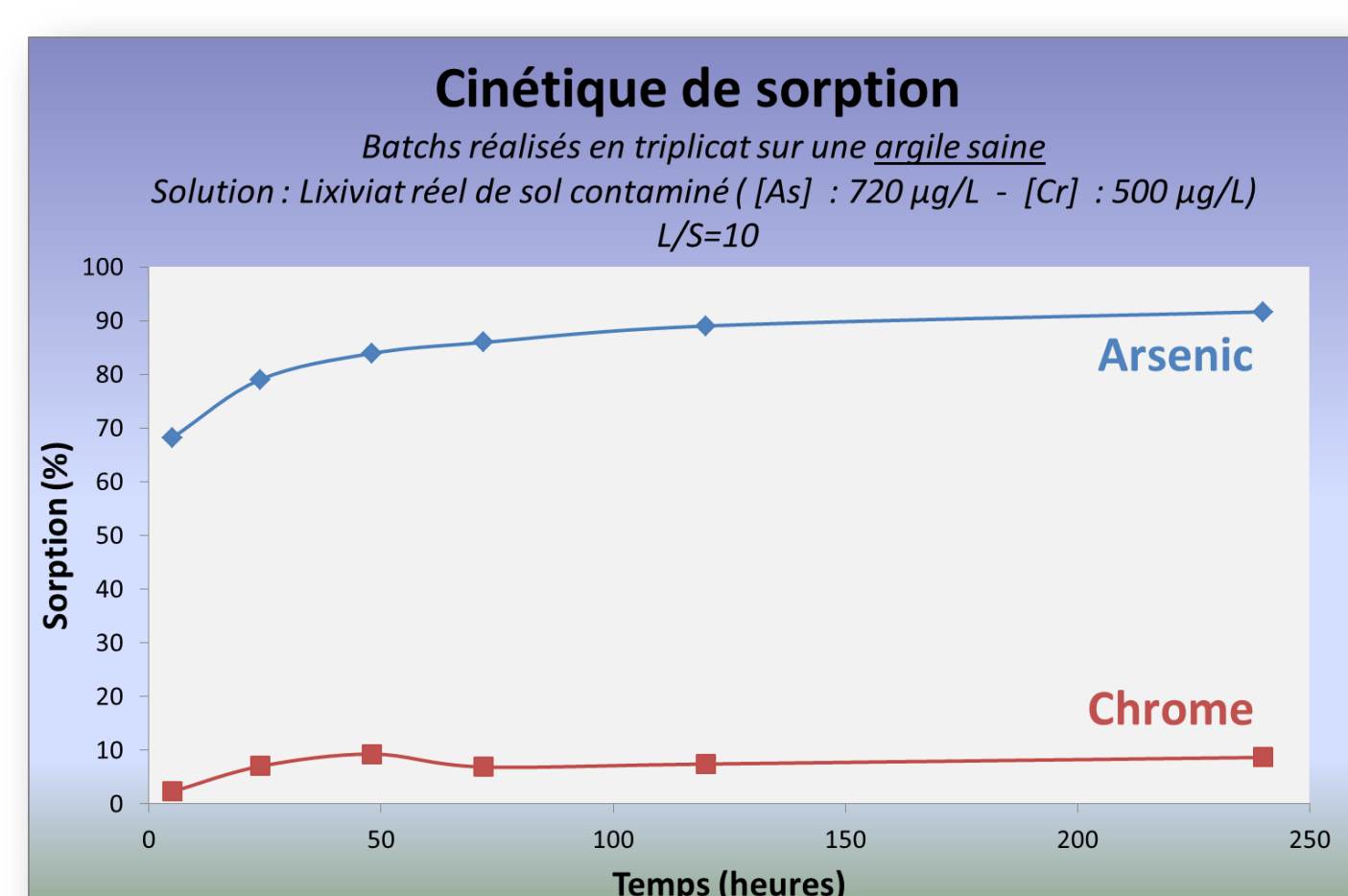
## Sorption et désorption de l'As et du Cr sur l'argile de stockage

### Résultats

- **Sorption importante de l'As** (77% à 24h). Les liaisons de l'As avec l'argile sont fortes au regard des résultats de désorption (8 % à 24h)
- **Peu de sorption du Cr** (9 % à 24h) et un très fort relargage lors de la désorption (80 % à 24h)
- Pas d'effet de compétition notable entre l'As et le Cr

### Etudes complémentaires

- **Spéciation** des éléments en phase solide et en phase aqueuse (extractions séquentielles, MEB, MET, DGT, analyses des formes chimiques)
- **Conditions dynamiques** du système (expérience en colonnes)
- **Modélisation géochimique** : couplage avec les résultats expérimentaux (CHESS/HYTEC)



## Rôle majeur des conditions du milieu sur la rétention de l'arsenic et du chrome

### Phosphate

- **Compétitions avec l'As** ; la sorption est diminuée de 50% avec une concentration en phosphate dans le lixiviat de 100mg/L (batch)

### pH

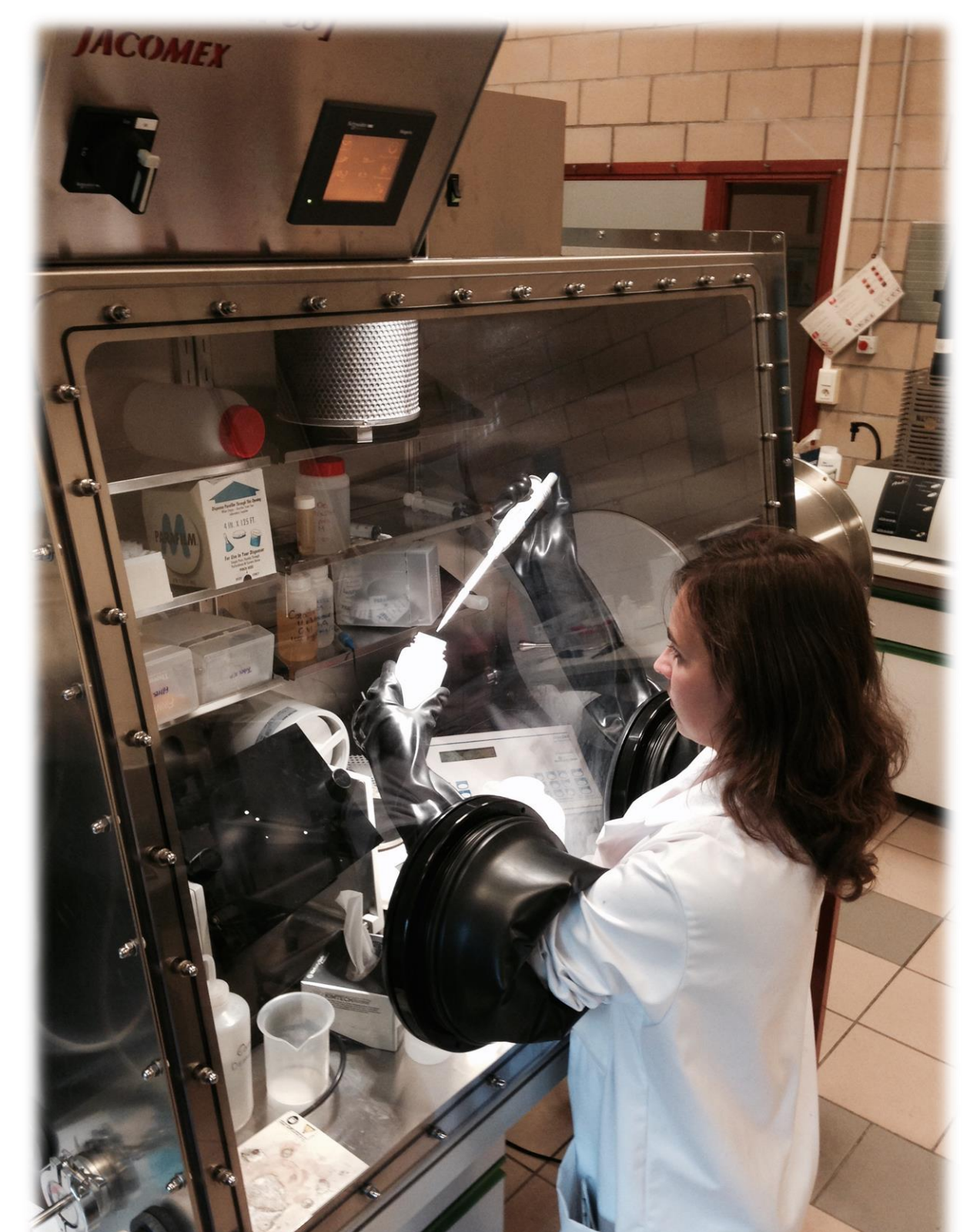
- La rétention est largement **favorisée en milieu acide pour le Cr** ; **90% de sorption à pH 4** (batch)

### Oxygène

- En conditions anaérobies la **sorption est plus importante** par rapport aux conditions aérobies ; 6% pour l'As et **38% pour le Cr** (batch)

### Perspectives

- Quelles sont les conditions qui permettent de maximiser la sorption de l'arsenic et du chrome simultanément ?
- Ces conditions sont elles compatibles avec la rétention des autres toxiques chimiques et radionucléides ?



### Parties prenantes



### Auteurs

**Coralie Deparis**  
Mines Douai - LGCGE

**Arnaud Gauthier**  
Université de Lille 1 - LGCGE

**Claire Alary**  
Mines Douai - LGCGE

**Benoit Madé**  
ANDRA

### Partenaires



## Parties prenantes



## Auteurs

Isabelle Cojan  
Olivier Stab  
Bruno Tessier  
Hélène Beucher  
Caroline Mehl  
Abed Benaichouche  
*Partenaires:*  
Pierre Voinchet (MNHN)  
Jean-Jacques Bahain (MNHM)  
Dominique Harmand (UPL)

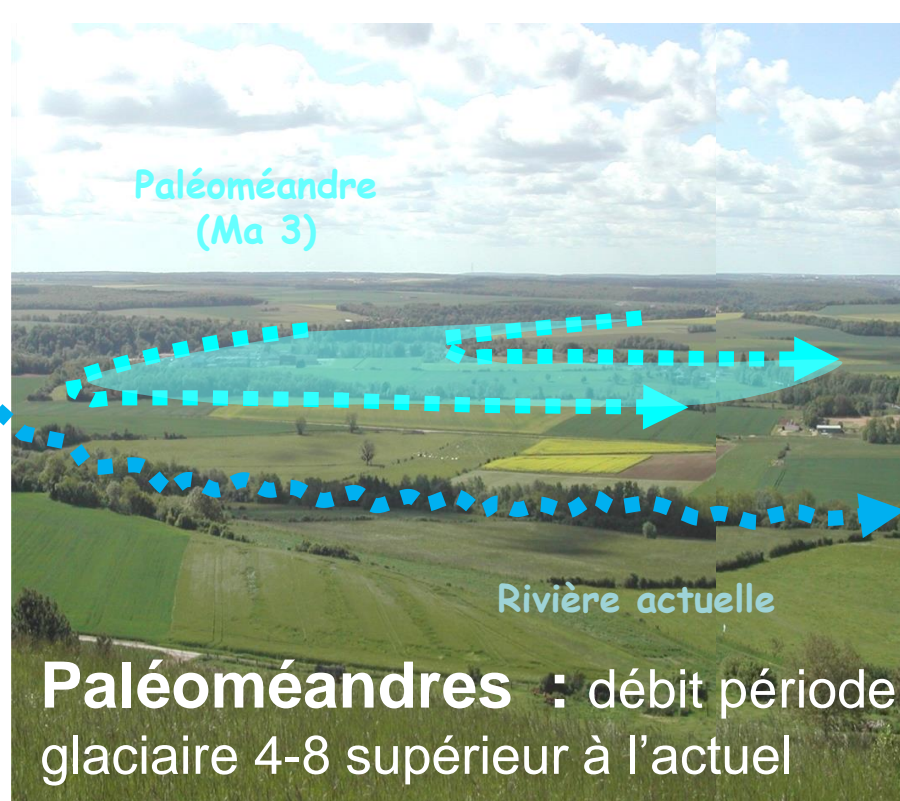
## Partenaires



## Spécificités de la gestion des déchets ultimes

### Contexte

- La Géoprospective a pour finalité de donner à la société civile des moyens efficaces afin d'élaborer des choix politiques durables en matière d'aménagement du territoire.
- Les travaux menés au Centre de Géosciences ont porté sur la modélisation de l'évolution géomorphologique du site du laboratoire de Bure (Haute Marne/Meuse) et son impact sur les écoulements de surface et souterrains.
- La dimension temporelle des périodes prises en compte dépasse celle de nos sociétés, atteignant le million d'années.
- De même, la dimension spatiale intègre la barrière géologique autour du site ainsi que le bassin sédimentaire dans lequel le site se trouve : le Bassin parisien.



## Démarche

### Archives et quantification

- Les cours d'eau constituent des éléments du paysage très sensibles à toute modification des paramètres naturels : climat et tectonique.
- Les terrasses qui bordent les cours d'eau ont enregistré cette évolution au cours du dernier million d'années, constituant un référentiel précieux pour le calage des paramètres du modèle d'évolution géomorphologique.

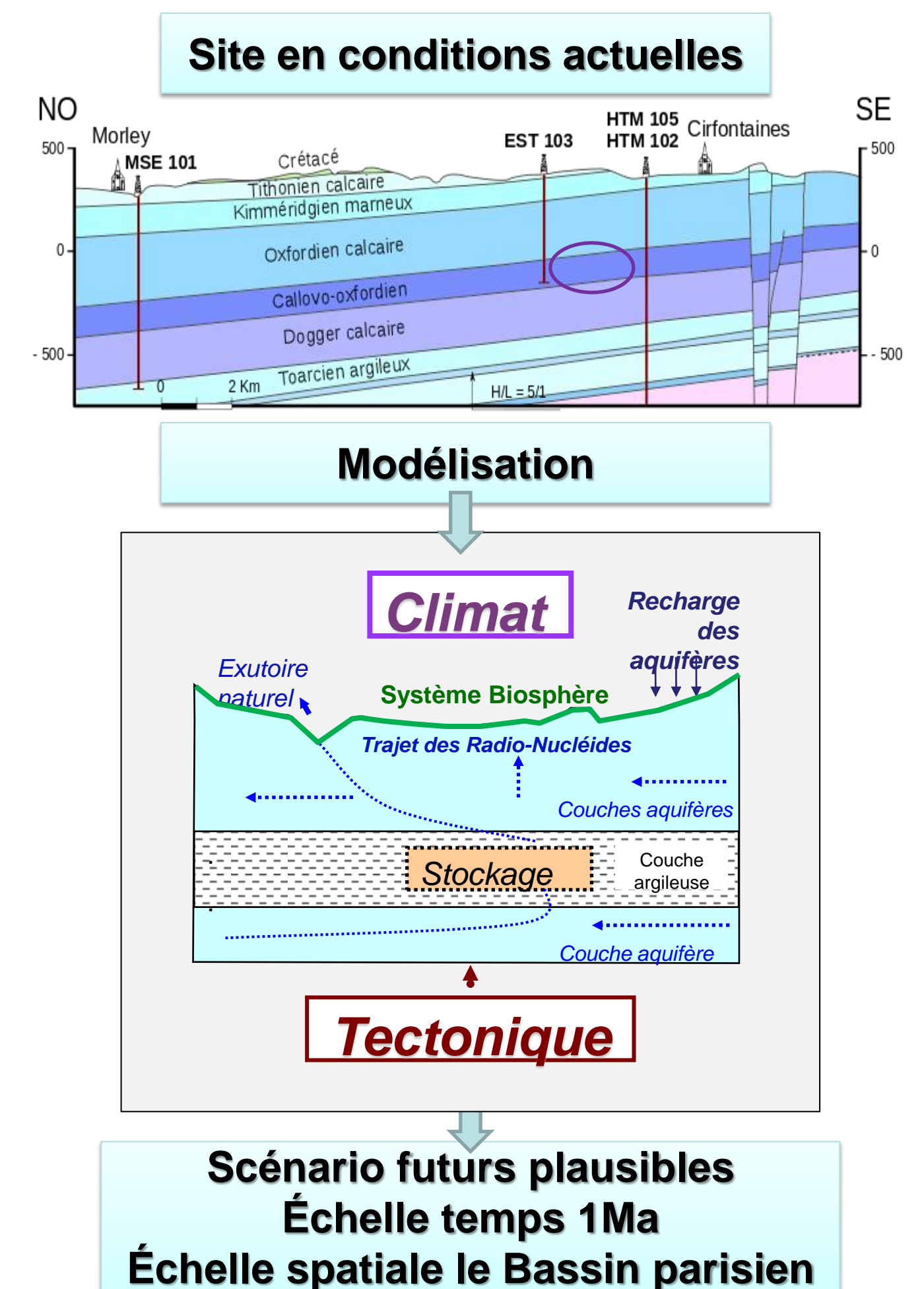
### Calage des paramètres

- Les scénarii déduits des données de terrain servent à proposer des jeux de paramètres plausibles pour évaluer les scénarii futurs dans des contextes climatiques naturels ou perturbés (pCO<sub>2</sub> 4\*actuelle).
- Les modélisations de l'évolution des rivières (incision/transport/dépôts) s'appuient sur un modèle de type diffusion dont les paramètres sont ajustés sur les données (actuelles ou celles de la dernière période glaciaire).

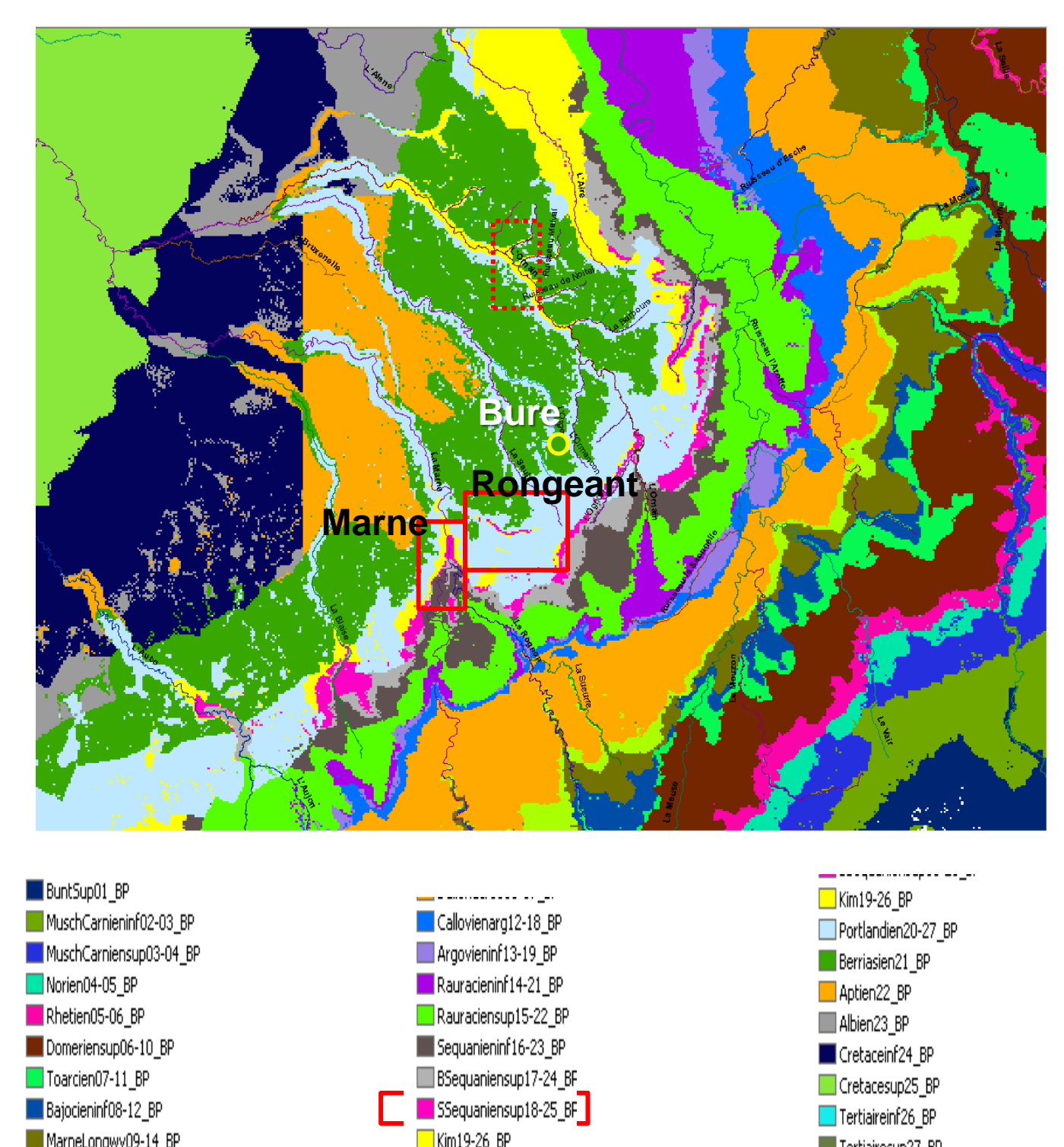
$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \cdot q_w \frac{\partial z}{\partial x} \right) + B$$

## Apports de la démarche

- Le Bassin parisien présente un taux de surrection nettement plus faible que le taux d'incision enregistré par les cours d'eau qui est influencé par les fluctuations du niveau marin.
- Le tracé des cours d'eau du Bassin parisien a subi de nombreux réarrangements par le passé et devrait en subir encore, entre autre de par la présence de réseaux karstiques.
- La comparaison des simulations entre scénario naturel et perturbé montrent un ralentissement de l'érosion avec le scénario perturbé jusqu'à 500 000 ans, puis un rattrapage de celle-ci avec des conditions finales assez voisines.



Zones affleurement aquifères à 1Ma scénario naturel



### Parties prenantes



Auteurs  
C. Mehl, D. Renard, H. Beucher, J-P. Chilès

### Partenaire



## INTRODUCTION

Il est nécessaire, pour un certain nombre d'applications industrielles aussi variées que le stockage de CO<sub>2</sub>, l'exploitation pétrolière ou la géothermie, de comprendre le comportement hydromécanique et chimique de grandes zones de failles. Afin de contraindre/préciser les modèles d'écoulement en vue d'optimiser l'exploitation des ressources, il est alors indispensable d'avoir recours aux analogues terrain.

Cette présentation a pour vocation de clarifier les protocoles d'acquisition de données sur analogues terrain fracturés. Une application des ces protocoles à la mise en place d'un algorithme de génération d'une zone de faille est présentée dans le poster « Geostatistical Simulation ».

## PROBLÉMATIQUE

### Objectifs

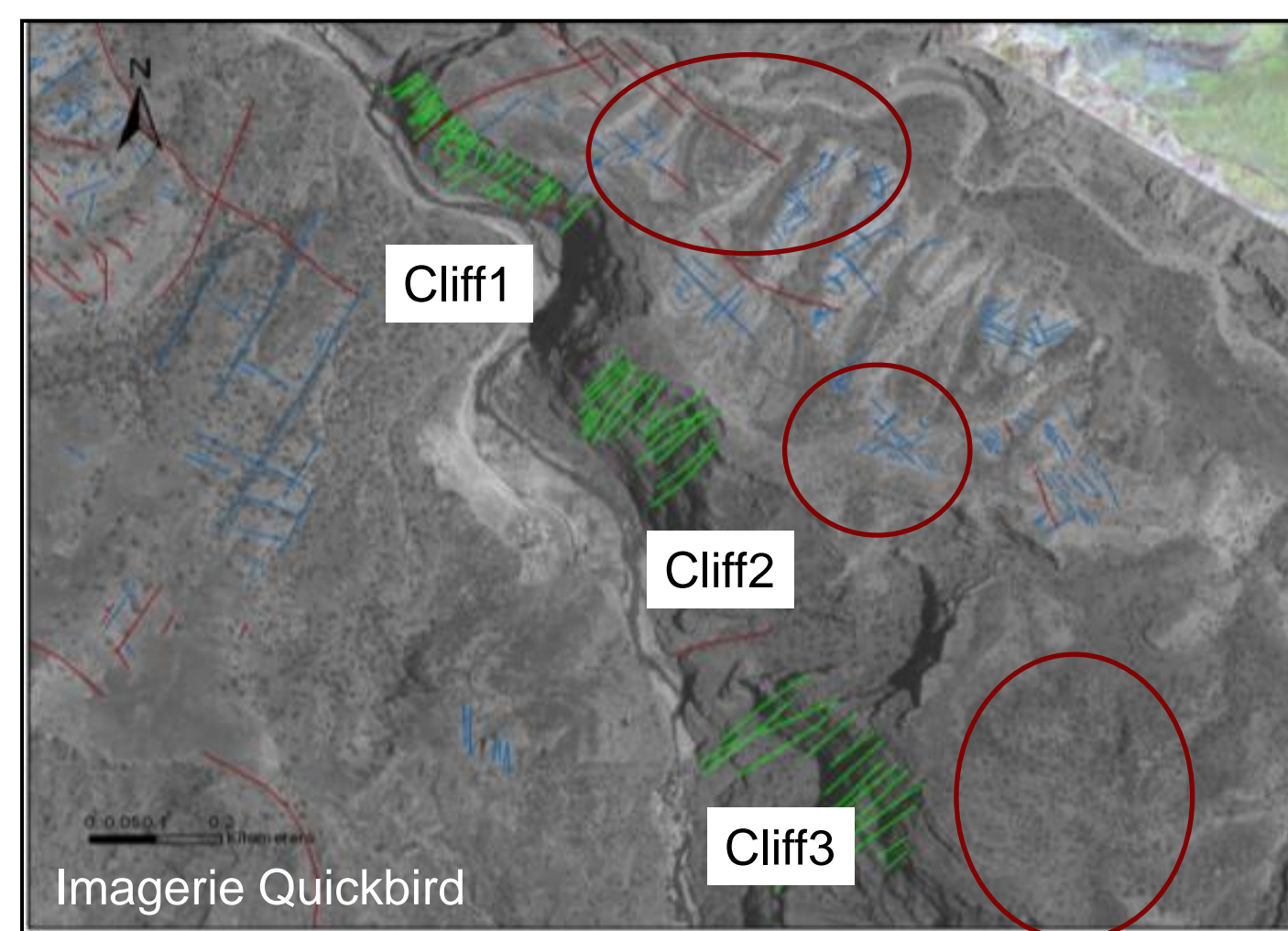
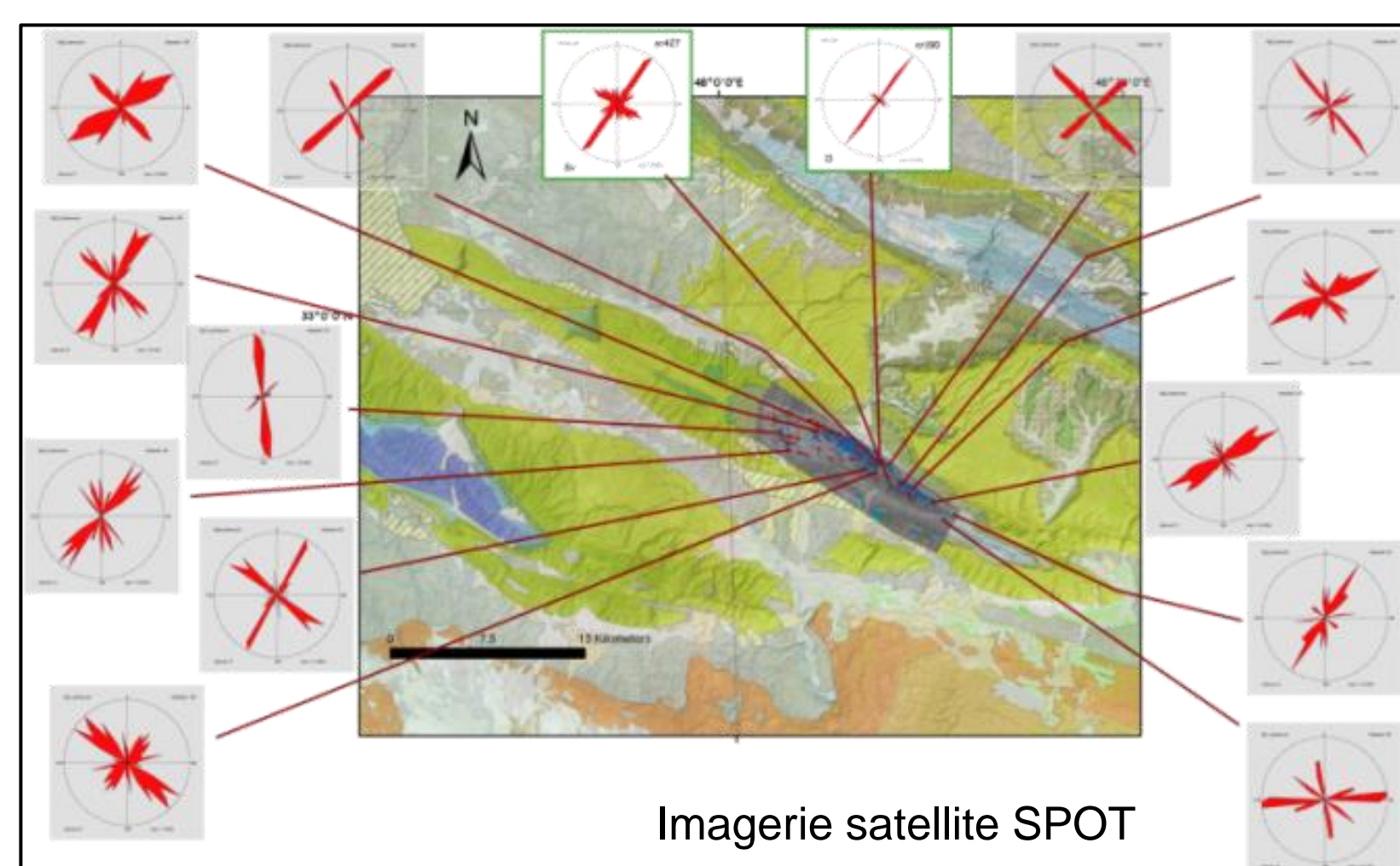
- ✓ Description réseaux de fractures orientée pour une modélisation hydraulique des réservoirs (fonction du contexte géologique)
- ✓ Développement d'outils descriptifs d'assistance à la prédiction (procédures, protocoles d'analyses...)

### Verrous

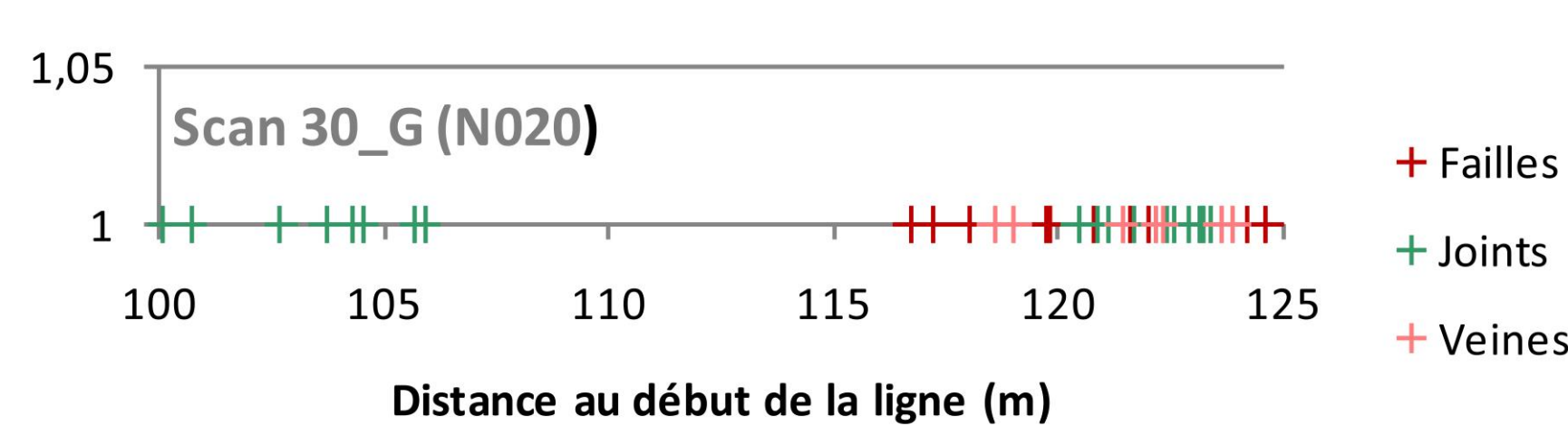
- ✓ Imbrication des échelles d'observation: quels attributs descriptifs pertinents pour une hiérarchisation correcte des réseaux ?
- ✓ Hétérogénéité du milieu : comment traiter les grands accidents ?
- ✓ Génération de fractures orientée processus

## PROTOCOLES D'ACQUISITION DE DONNÉES TERRAIN MULTI-ÉCHELLES

Collecte de données multi-échelles (proxies): orientation, pendage, longueur, persistance, ouverture, remplissage, cinématique...



### Attributs statistiques



Simulation géostatistique

Reconstitution de la géométrie du réseau fracturé avec gestion du changement d'échelle

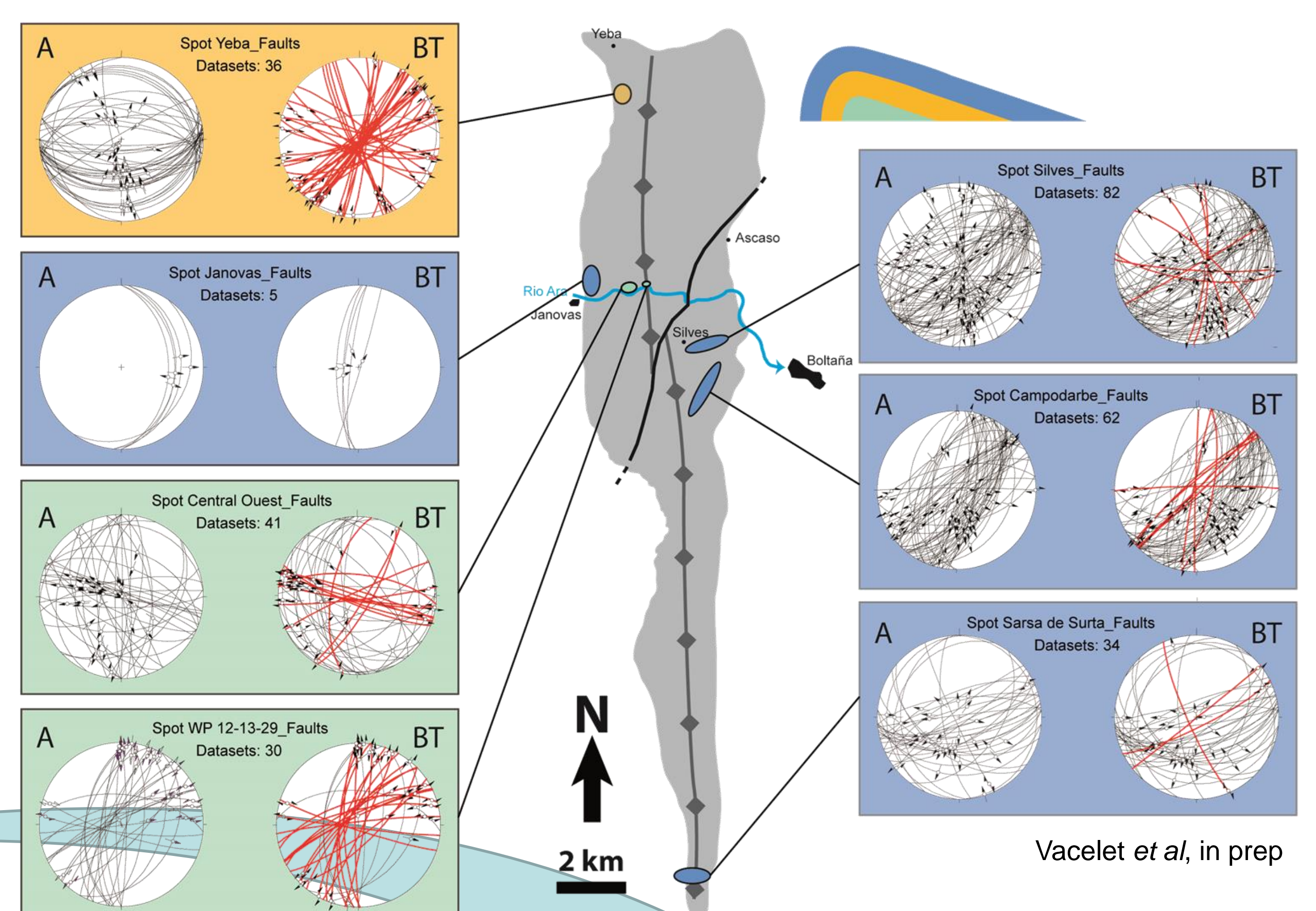
### Attributs cinématiques

Inversion

Orientation du tenseur des contraintes  
Déviateur des contraintes

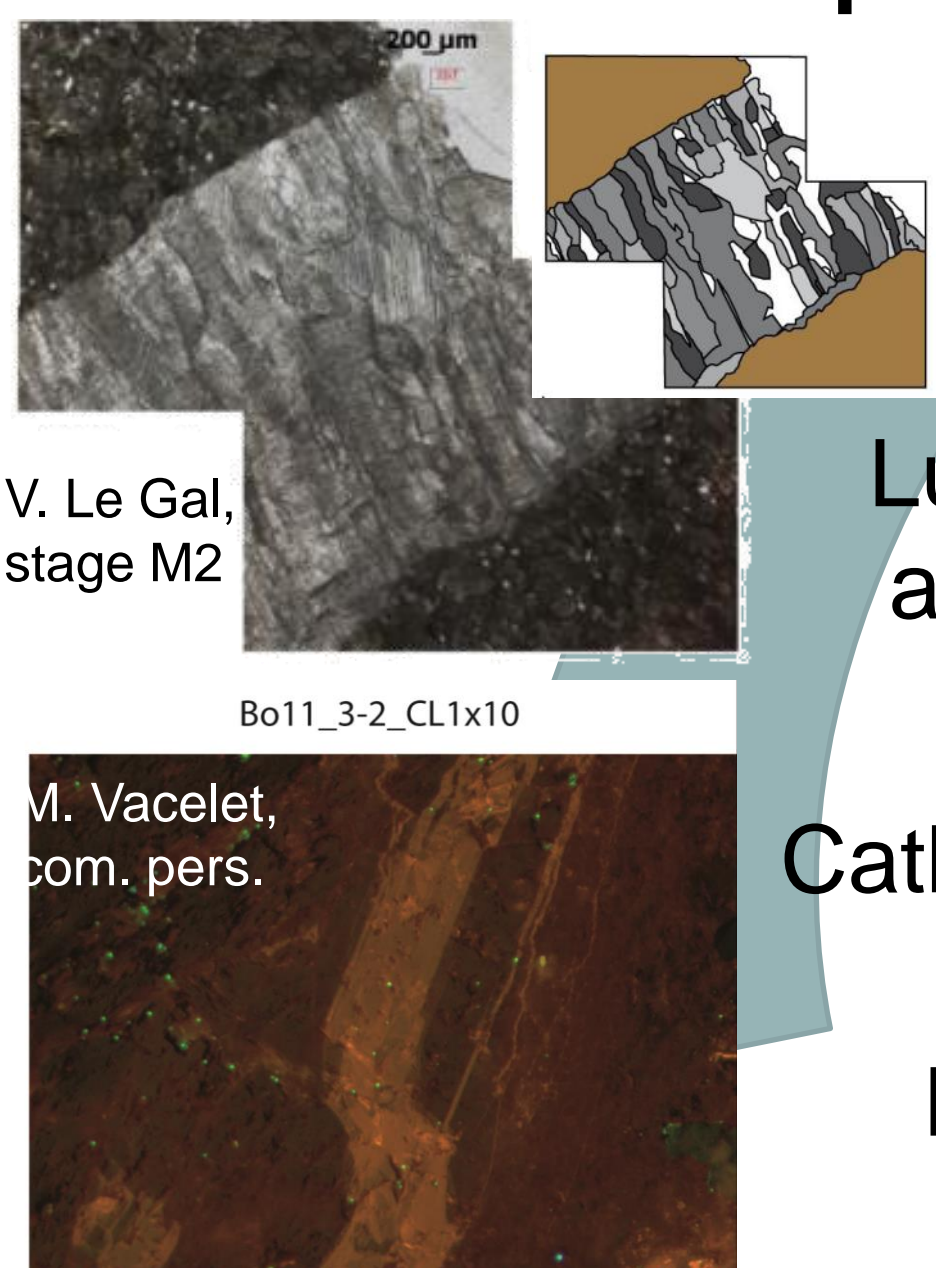
Modélisation mécanique

Reconstitution de la dynamique de mise en place



## ANALYSE DES CRISTALLISATIONS

### Caractérisation optique



Lumière naturelle : analyse texturale

Cathodoluminescence: analyse du polyphasage de cristallisation

Reconstitution de la dynamique fracturation/cristallisation

### Caractérisation chimique

Centre de Géosciences :  
Phases cristallines en présence : DRX  
Eléments traces: microsonde ionique  
Isotopie (stables du C et O) : spectromètre de masse isoprime

En extérieur : isotopie Sr et inclusions fluides

Identification des sources potentielles de fluides à l'origine des cristallisations

## CONCLUSION

C'est de la confrontation de l'ensemble des résultats: partiels issus de chacune des ces approches que l'on déduit :

1. un modèle conceptuel intégré de la dynamique de mise en place des fractures et des circulations de fluides associées
2. les proxies nécessaires à une modélisation basée sur des processus et traitant de l'information a priori

## Parties prenantes



Auteurs  
D. Renard, H. Beucher,  
J-P. Chilès, C. Mehl

## Partenaire



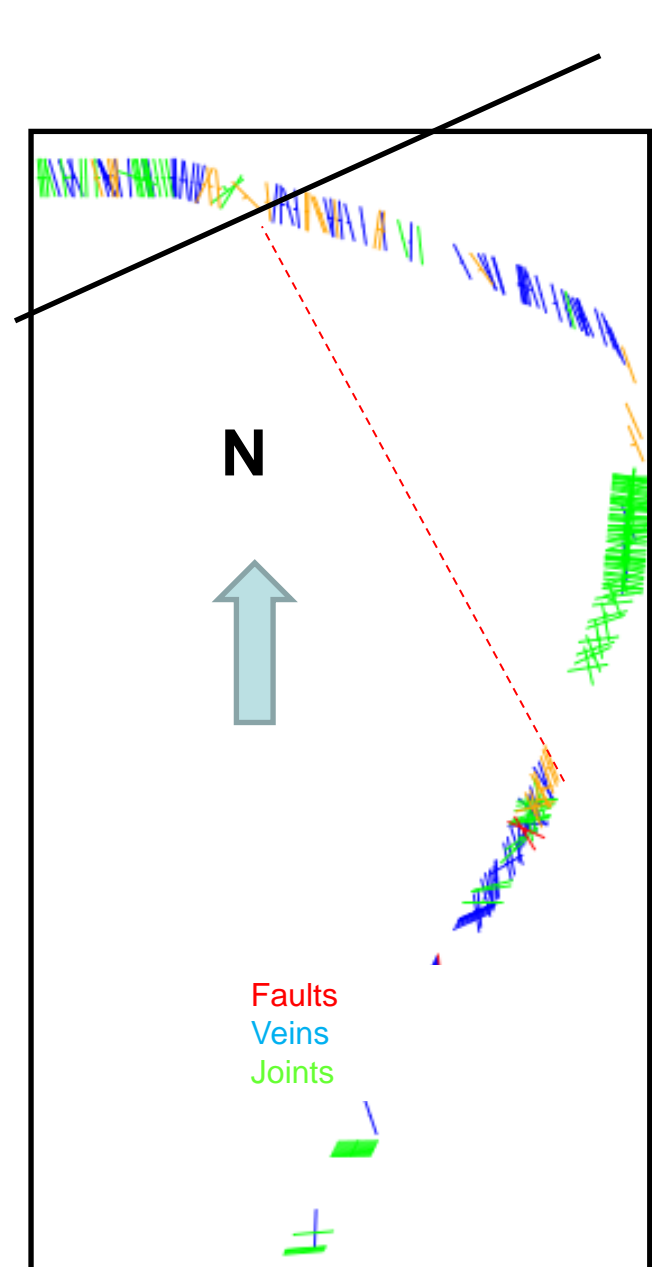
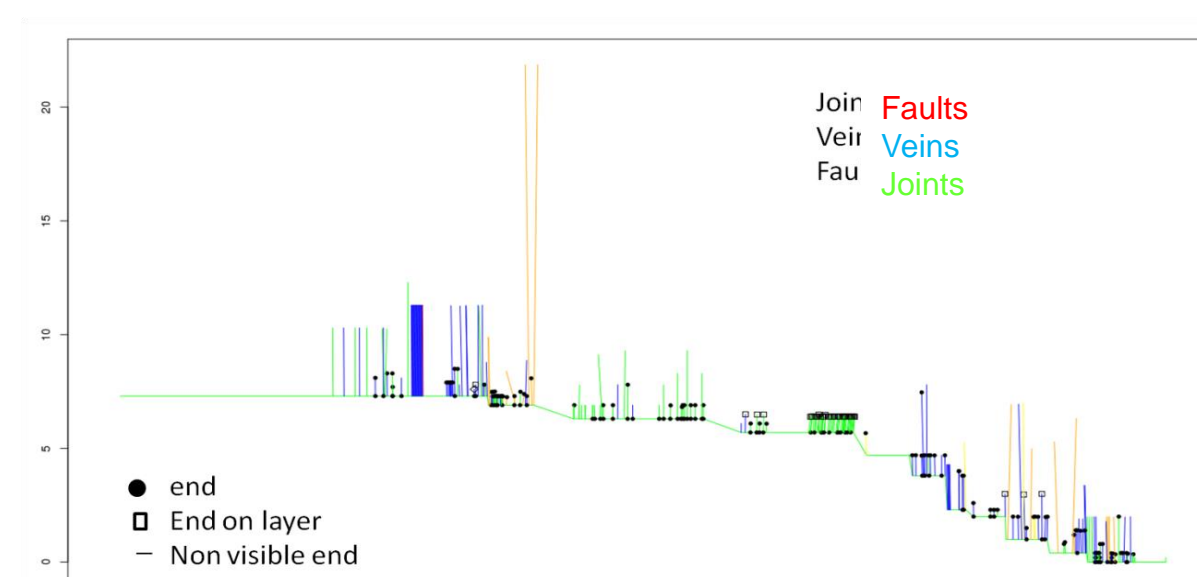
## DATA ANALYSES

Systematic surveys of fractures along scan lines:

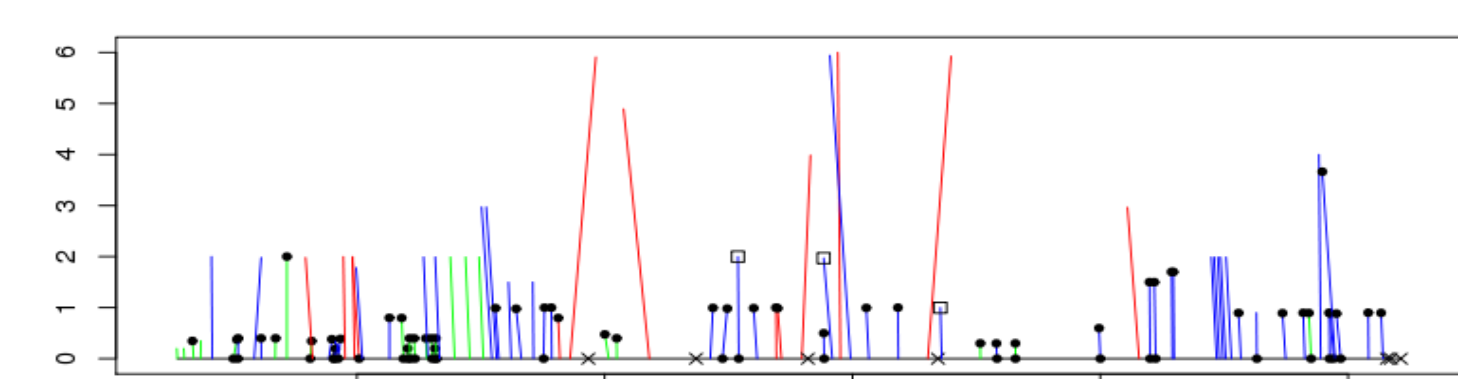
- Curvilinear abscissa of the fracture on the scan
- Bench: Lithofacies and Thickness
- Type of the fracture:
  - ✓ J: no crystallization joints
  - ✓ V: veins with crystallization
  - ✓ F: faults
- Orientation; Dip; Pitch & Direction (Fault)
- Filling: Thickness; Nature; Aperture
- Dimensions:
  - ✓ Vertical persistence downwards ?
  - ✓ Size of the fracture above the scan line



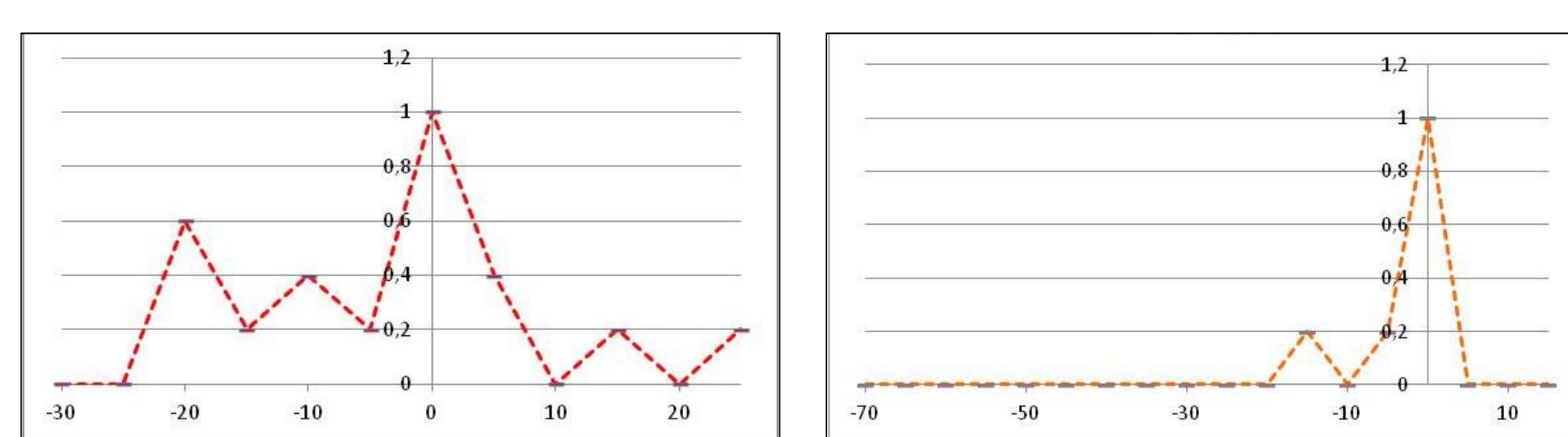
Fractures along the scan line



Projection in a line perpendicular to the main fault (North area)



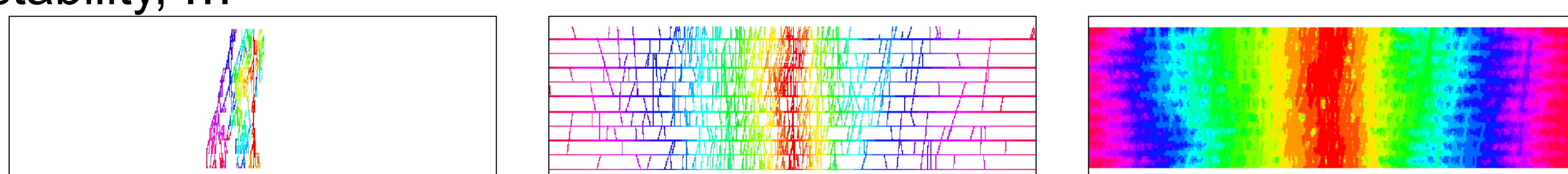
Hypotheses: ignore elevation and layers characteristics (similar physical properties)



Fracture density (number per meter) around the main fault for north (left) and south (right) areas

## PERSPECTIVES

- Additional field measurements lead to a better calibration of parameters:
  - ✓ Layer properties (rigidity) influence fracture characteristics persistence, trajectory, repulsion parameter, ...
  - ✓ Other fracture terminations: inside the layer, branching fractures, ...
- Extend the fracture simulation algorithm to 3D case
- Derive field properties: fluid flow characteristics, fractured rock stability, ...

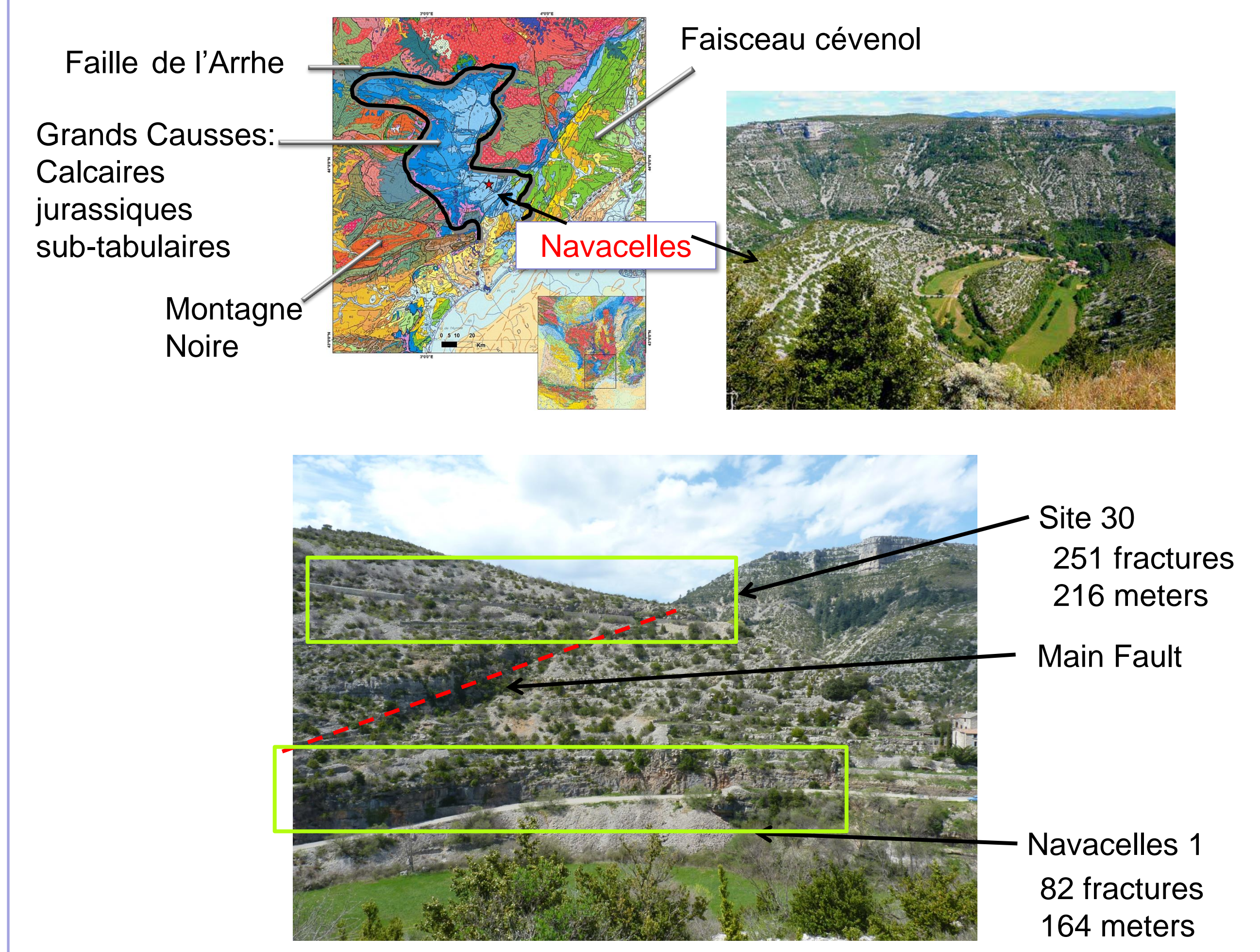


Example: Flow propagation from the main fault with permeability in fractures (left) + layer boundaries (middle) + matrix (right)

## INTRODUCTION

To understand the hydro-mechanical and chemical behavior of fault zones in the context of CO<sub>2</sub> storage (pressure perturbation & aggressive reactive fluid), it is necessary to build a numerical model of a fault zone. The aim of this study is to propose an algorithm to generate a fault zone in a gently deformed carbonated host-rock. This part is based on the work presented in the first poster: *Analyse multi-échelle*

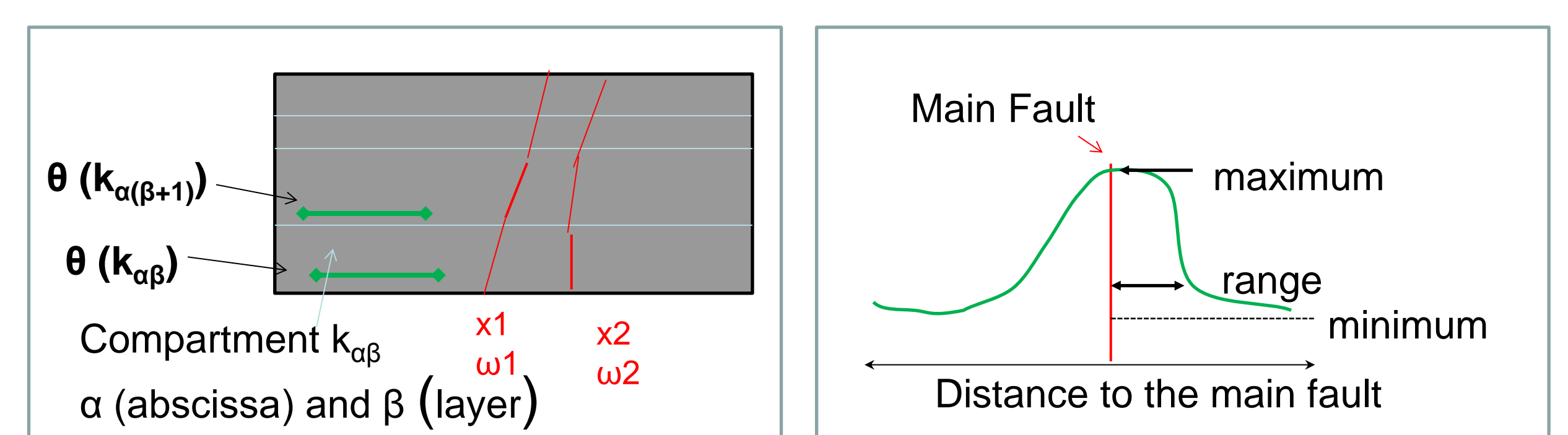
## CHOICE OF AN ANALOG



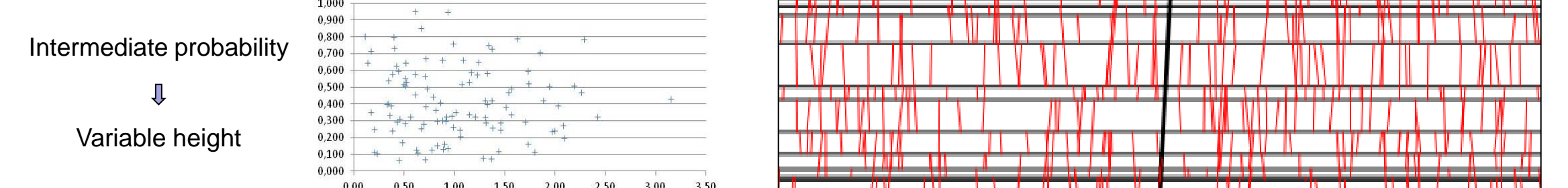
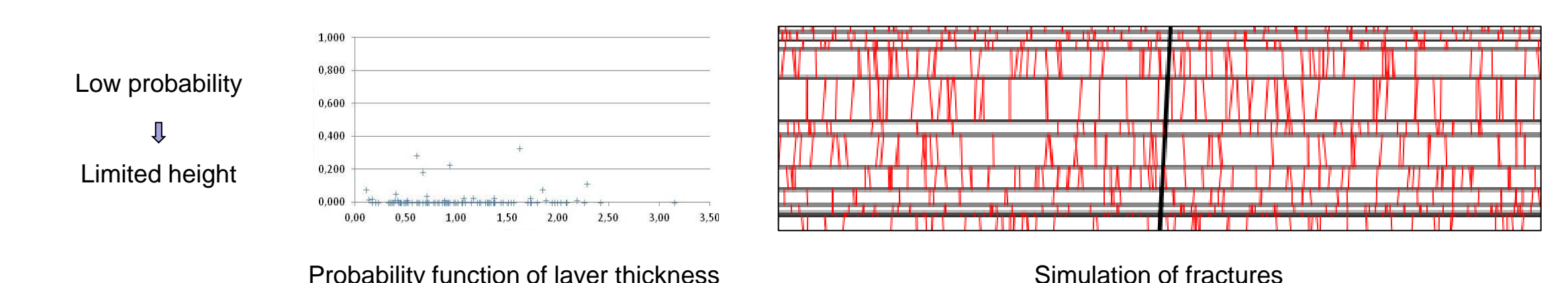
## SIMULATIONS

Algorithm designed for stratified field with few deterministic faults:

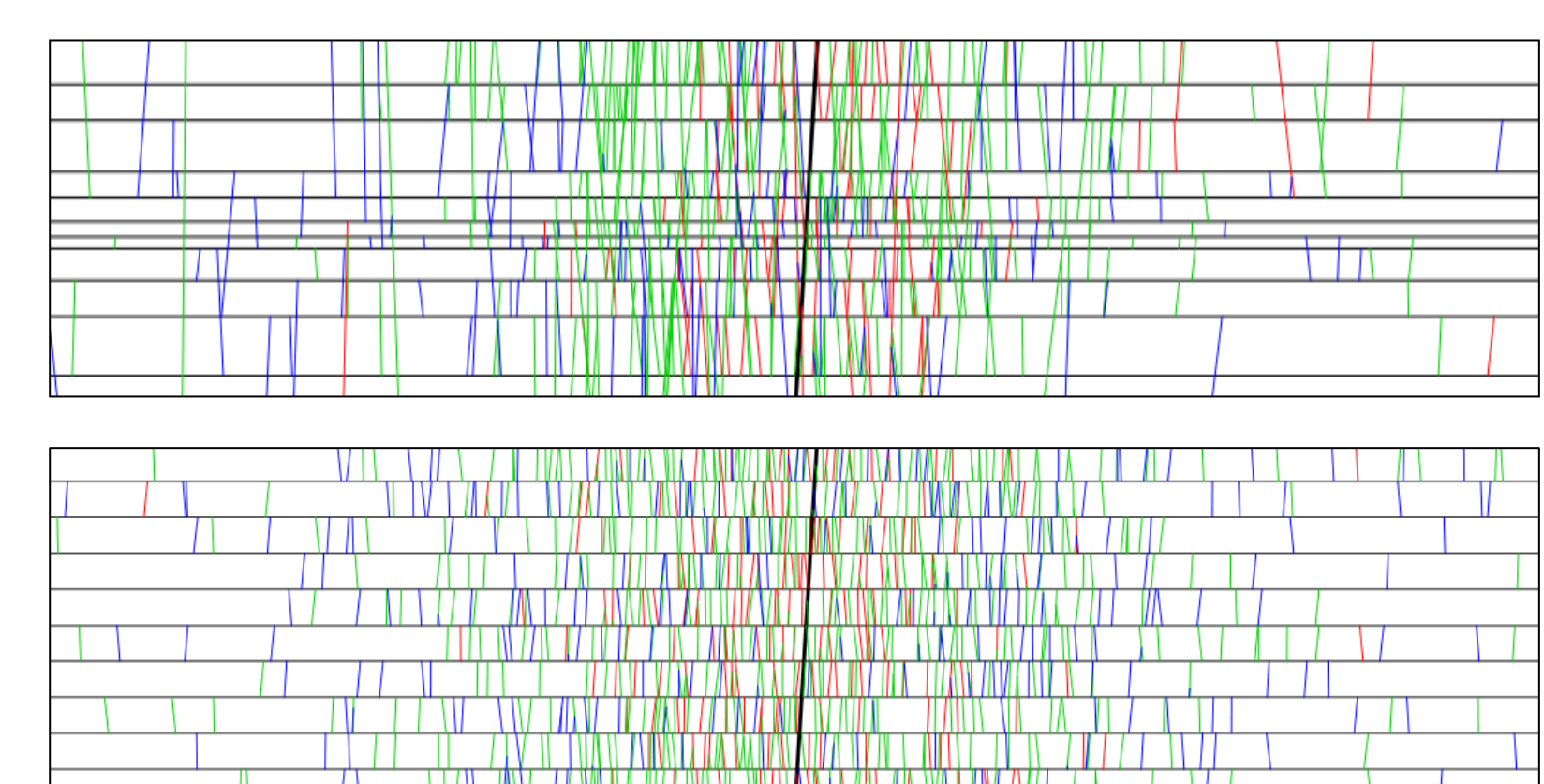
- Layers treated sequentially from bottom to top
- Fracture generated at bottom of layer with:
  - ✓ density related to layer thickness, distance to the main fault
  - ✓ repulsion between fractures
- Fracture continued over consecutive layers (persistence probability)
- Fracture intersected according to their type (hierarchy)



Fracture density according to layer thickness and distance to the main fault



Persistence probability and its consequence on the fracture heights



Simulation outcomes : 3 types of fracture:

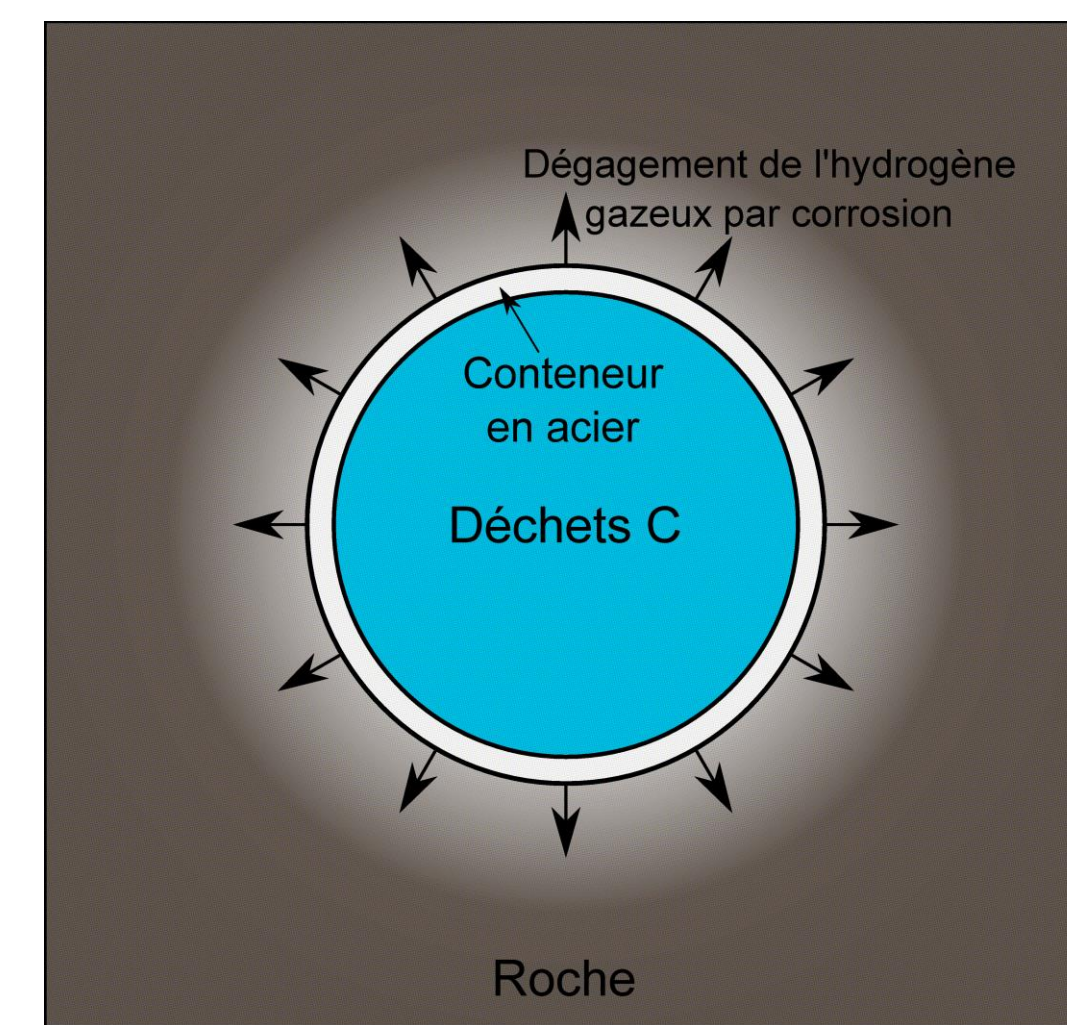
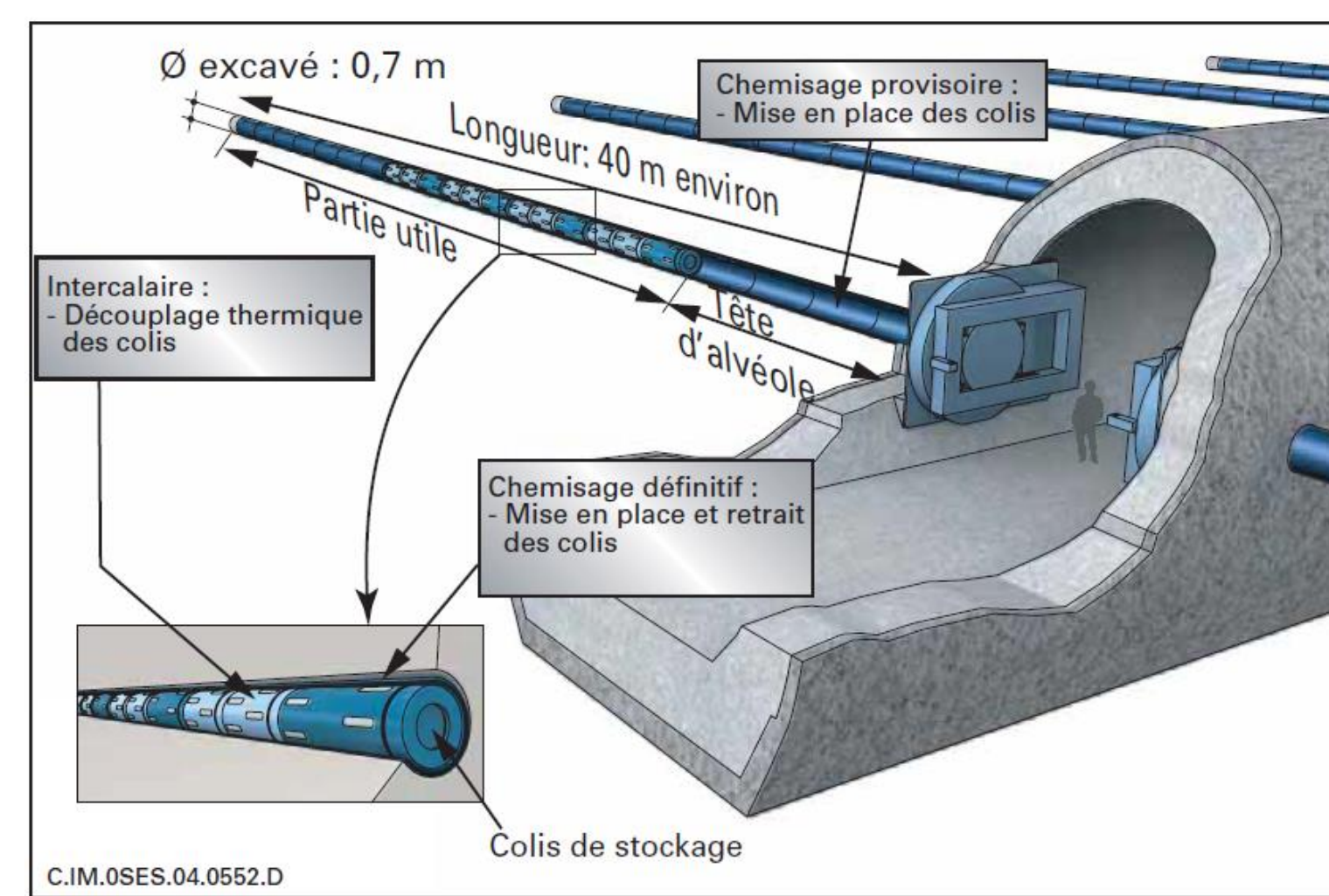
- persistence probability: intermediate (top) and low (bottom)
- layer thickness following to a gamma distribution: high variance (top); low (bottom)



## Problématique industrielle

Stockage des déchets radioactifs dans une couche argileuse profonde

- Corrosion des conteneurs métalliques
- ➔ Production de l'hydrogène gazeux sous pression
- ➔ Risque de fracturation

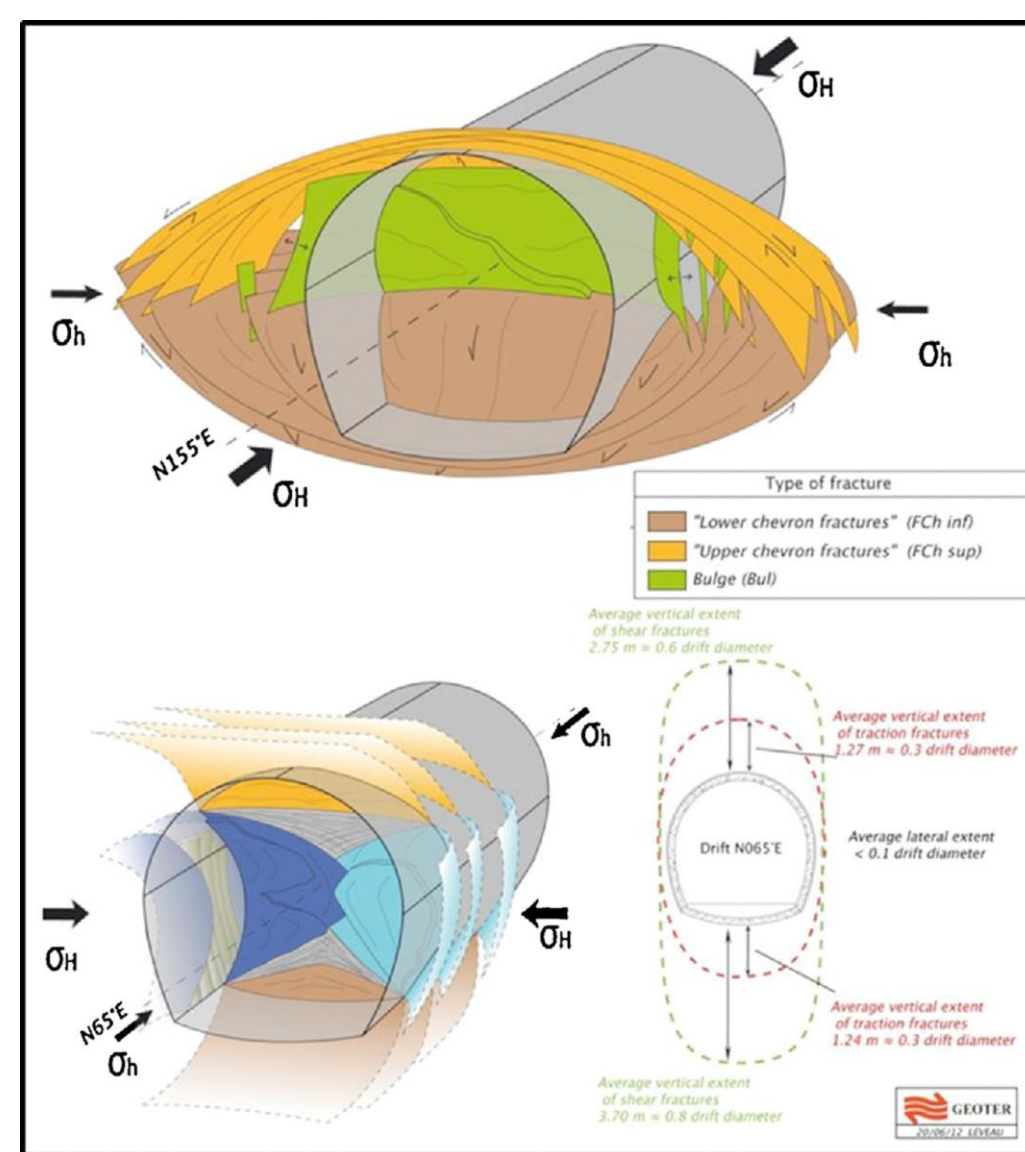


Parties prenantes



Auteurs

Mohamed MAHJOUB  
Michel TIJANI  
Ahmed ROUABHI

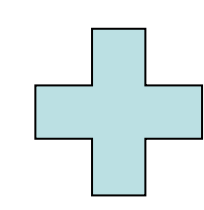


## Verrous scientifiques

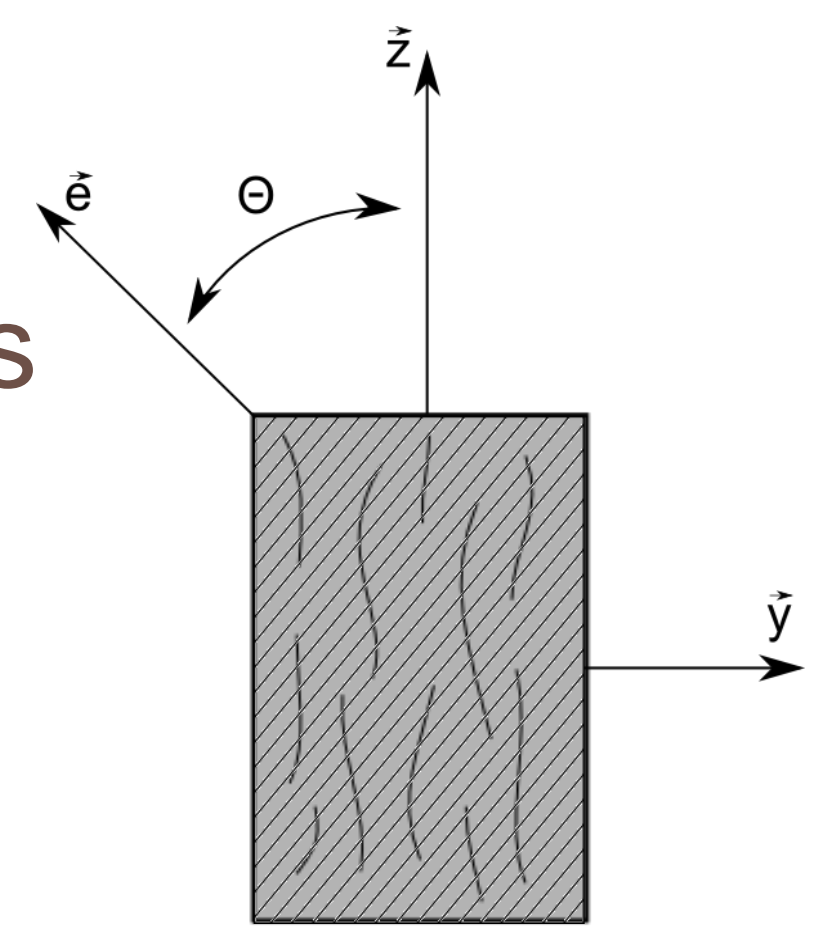
- ✓ Nécessité d'un modèle d'endommagement qui tient compte de:
  - L'anisotropie du matériau: paramètres élastiques ( $E, E', \nu, \nu', G$ ) et non élastiques ( $R_c$  par exemple)
  - L'anisotropie induite par fissuration orientée
  - L'anisotropie des contraintes initiales
- ✓ Couplage de la mécanique avec le transfert des fluides

## Démarche scientifique

Expérimentation



Modélisation



## Modèle d'endommagement pour un matériau isotrope transverse

$$\underline{\underline{\omega}} - \underline{\underline{\sigma}}_0 = \underline{\underline{H}}(\underline{\underline{\omega}}) : \underline{\underline{\varepsilon}}$$

- $\underline{\underline{\omega}}$  tenseur d'endommagement
- $\underline{\underline{H}}(\underline{\underline{\omega}})$  tenseur de Hooke  $f(E, E', \nu, \nu', G)$

$$\underline{\underline{H}}(\underline{\underline{\omega}}) = \underline{\underline{L}} : \underline{\underline{H}}(\underline{\underline{\omega}}) : \underline{\underline{L}}$$

- Matériau isotrope transverse  

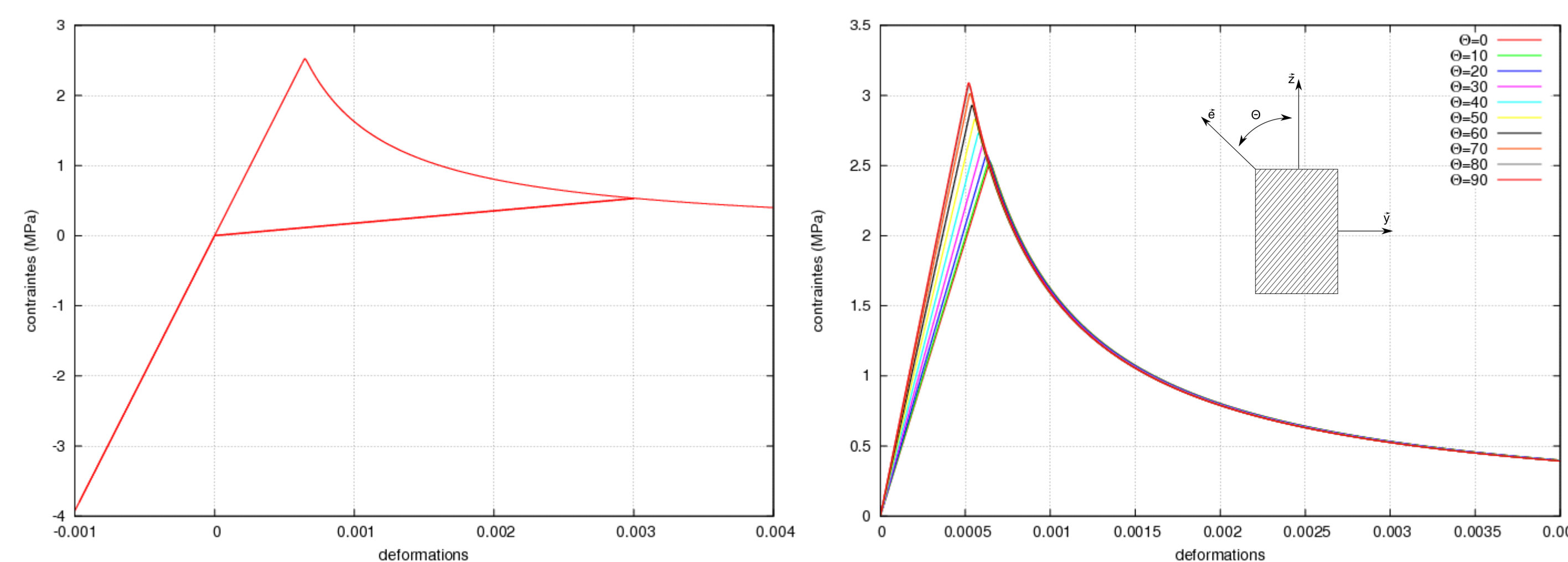
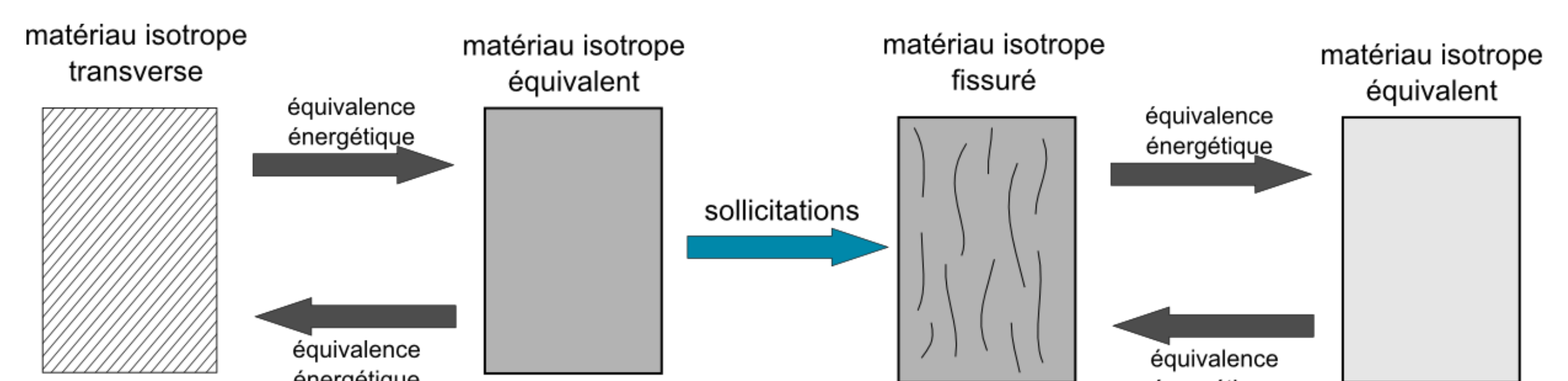
$$\underline{\underline{H}}(\underline{\underline{1}}) = h_1 \underline{\underline{1}} \otimes \underline{\underline{1}} + h_2 \underline{\underline{1}} \otimes \underline{\underline{1}} + h_3 \underline{\underline{e}} \otimes \underline{\underline{e}} + h_4 (\underline{\underline{1}} \otimes \underline{\underline{e}} + \underline{\underline{e}} \otimes \underline{\underline{1}}) + h_5 (\underline{\underline{1}} \otimes \underline{\underline{e}} + \underline{\underline{e}} \otimes \underline{\underline{1}})$$

- Matériau isotrope équivalent

$$\underline{\underline{H}}(\underline{\underline{1}}) = \bar{\lambda} \underline{\underline{1}} \otimes \underline{\underline{1}} + 2\bar{\mu} \underline{\underline{1}} \otimes \underline{\underline{1}}$$

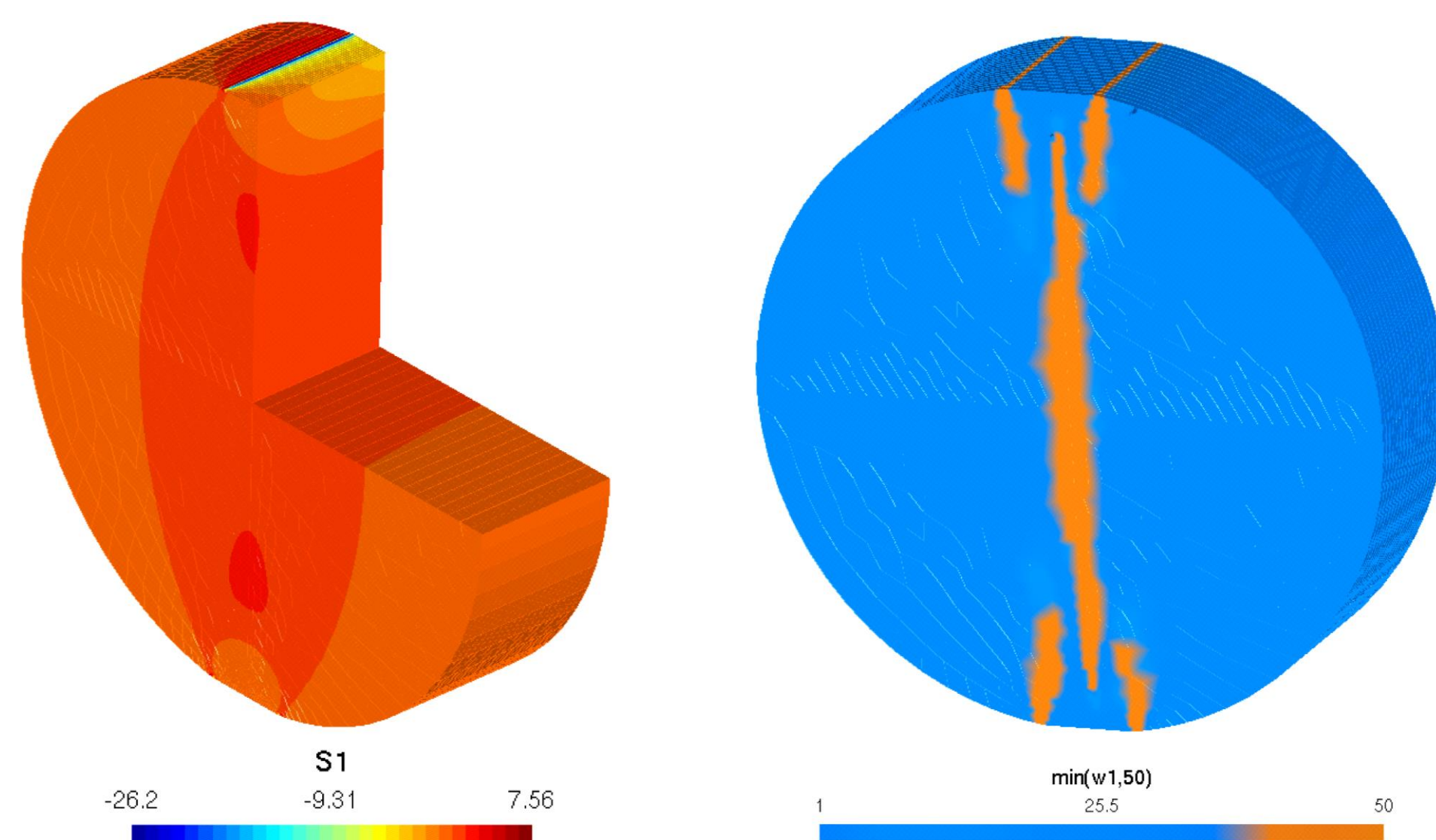
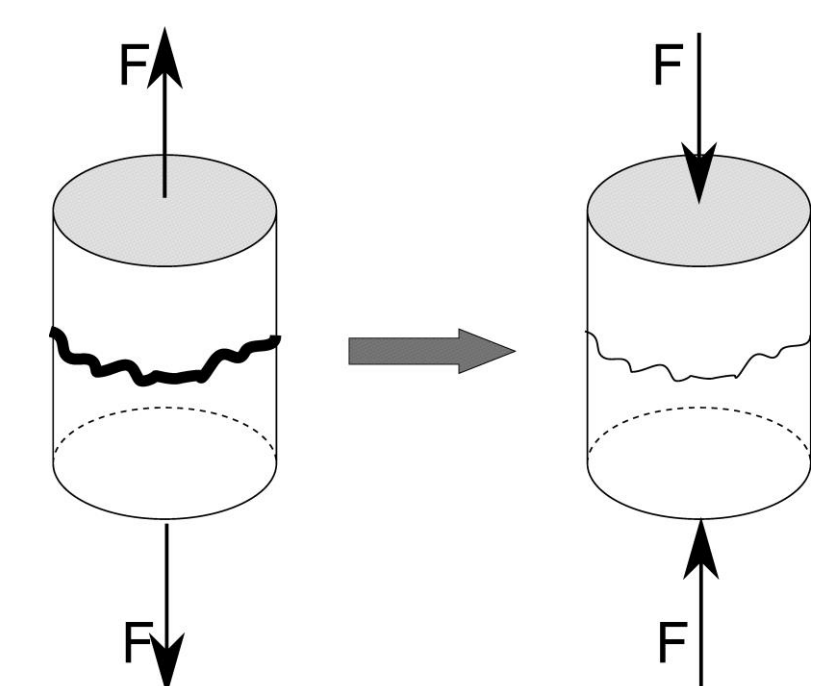
- Matériau isotrope équivalent endommagé

$$\underline{\underline{H}}(\underline{\underline{\omega}}) = \bar{\lambda} \underline{\underline{\omega}}^{-1} \otimes \underline{\underline{\omega}}^{-1} + 2\bar{\mu} \underline{\underline{\omega}}^{-1} \otimes \underline{\underline{\omega}}^{-1}$$



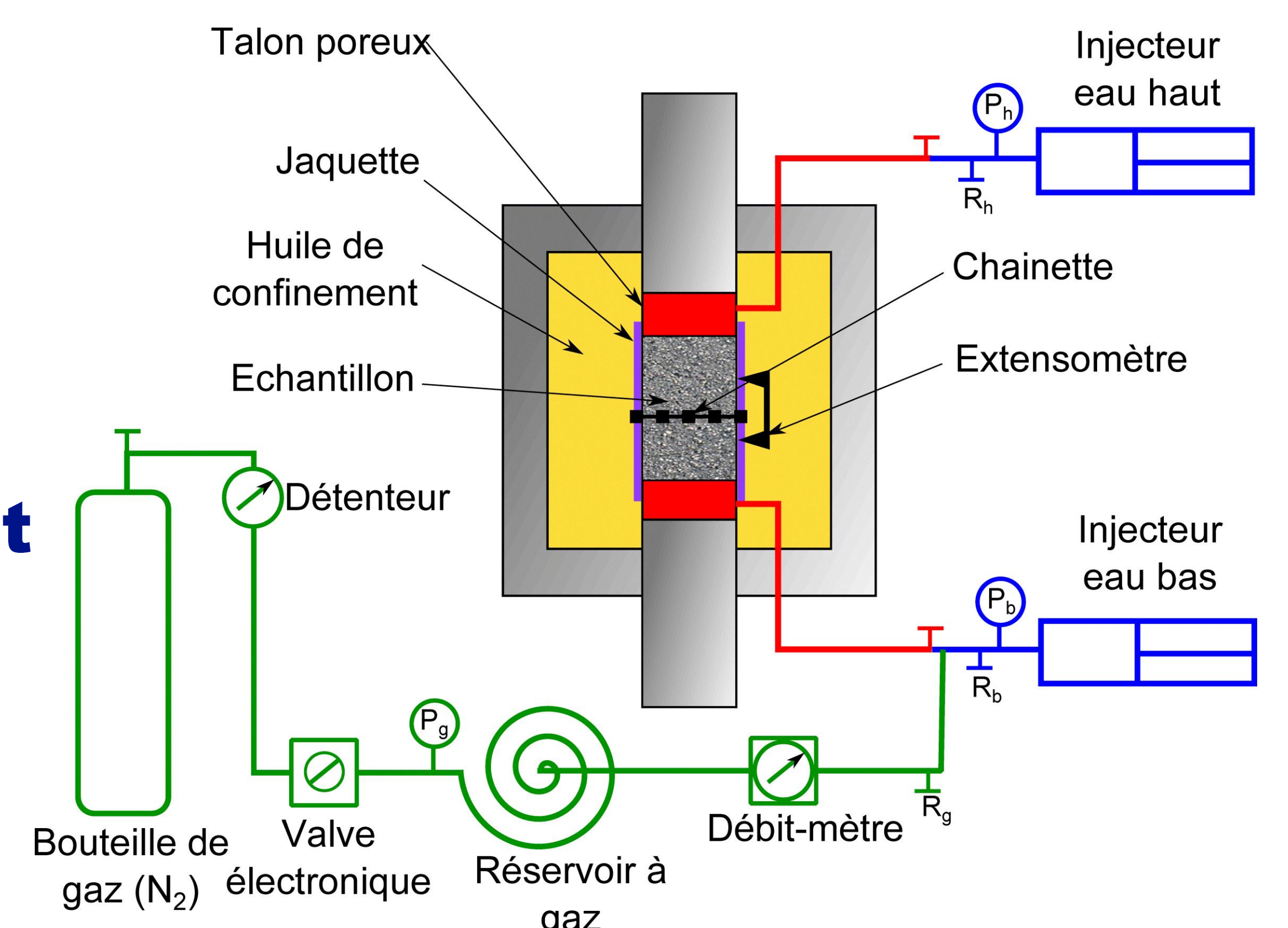
- Endommagement activé en traction

$$\underline{\underline{\omega}}_{ac} = \underline{\underline{1}} + \underline{\underline{P}}(\underline{\underline{\omega}} - \underline{\underline{1}})\underline{\underline{P}}$$



## Relation entre l'endommagement et la perméabilité

- Essais d'injection de gaz dans un échantillon d'argilite préalablement fissuré
- ➔ Rechercher une loi perméabilité fonction de l'endommagement



Partenaires



Parties prenantes



Auteurs

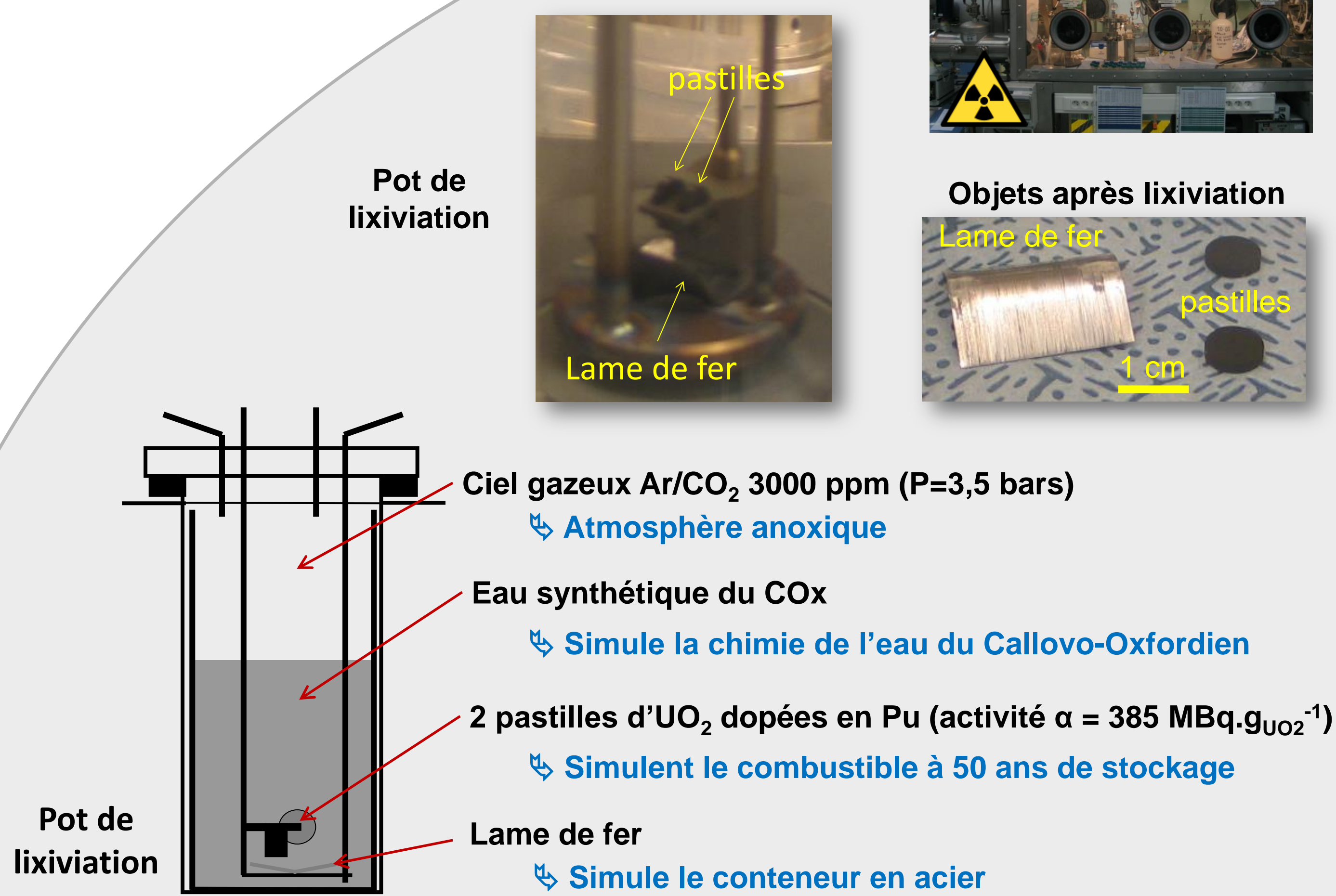
Mélina ODOROWSKI  
Laurent DE WINDT  
Christophe JEGOU  
Christelle MARTIN

## Le projet PRECCI

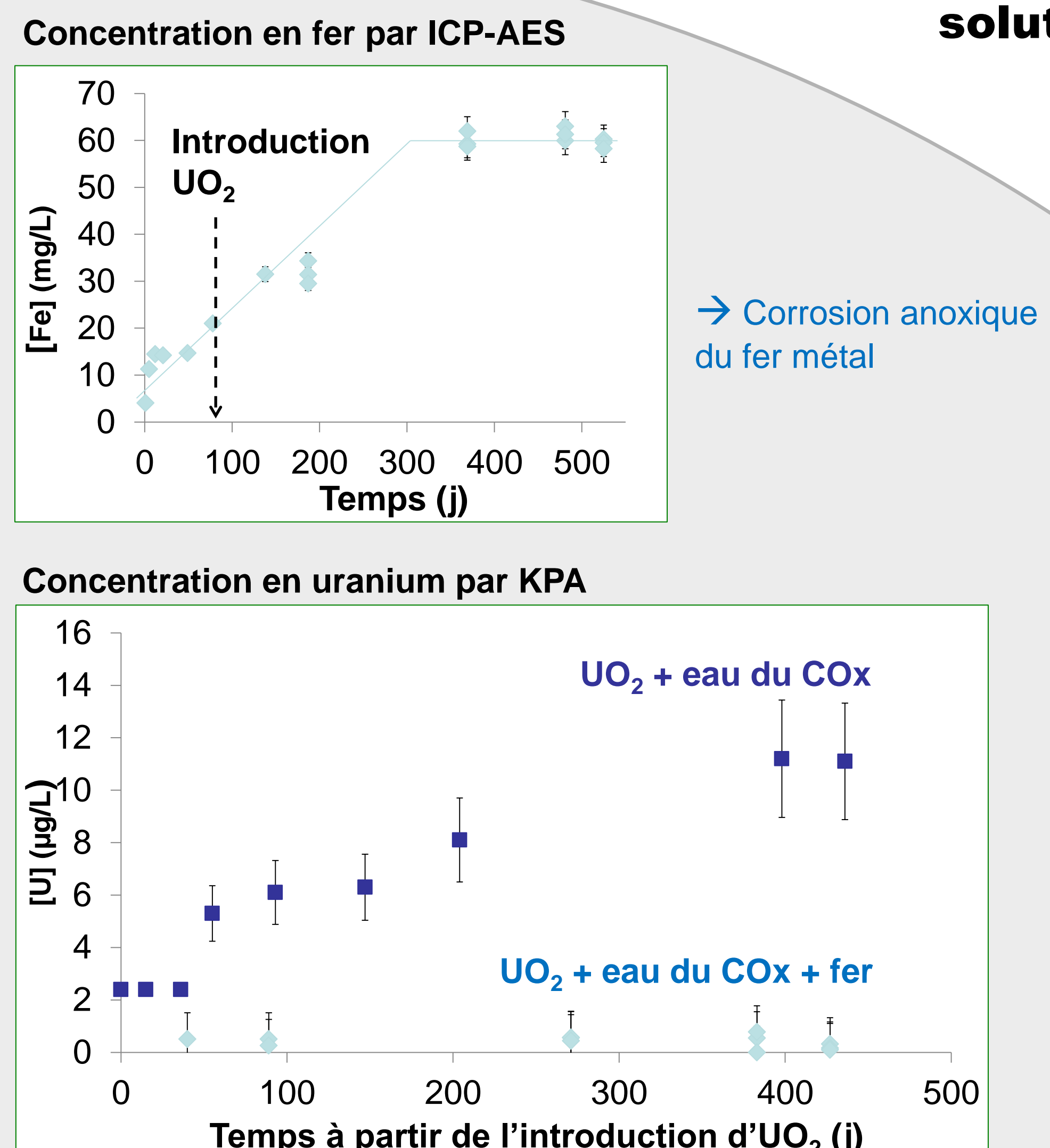
Le stockage direct du combustible nucléaire irradié dans des conteneurs en acier placés en formation géologique profonde est une solution alternative aux déchets vitrifiés pour la France et la solution de référence pour certains pays (Suède, USA). En France, la couche géologique envisagée correspond aux argilites du Callovo-Oxfordien (COx) située à 500 m de profondeur en milieu anoxique et réducteur. Afin d'étudier le comportement du combustible dans ces conditions de stockage, des pastilles d'UO<sub>2</sub> sont lixiviées en eau synthétique du COx, en présence de fer (représentant le conteneur en acier) et sous atmosphère désaérée. Les pastilles d'UO<sub>2</sub> sont dopées en Pu, un puissant émetteur alpha, pour reproduire une activité donnée (donc un âge) du combustible.

## Méthodes et résultats

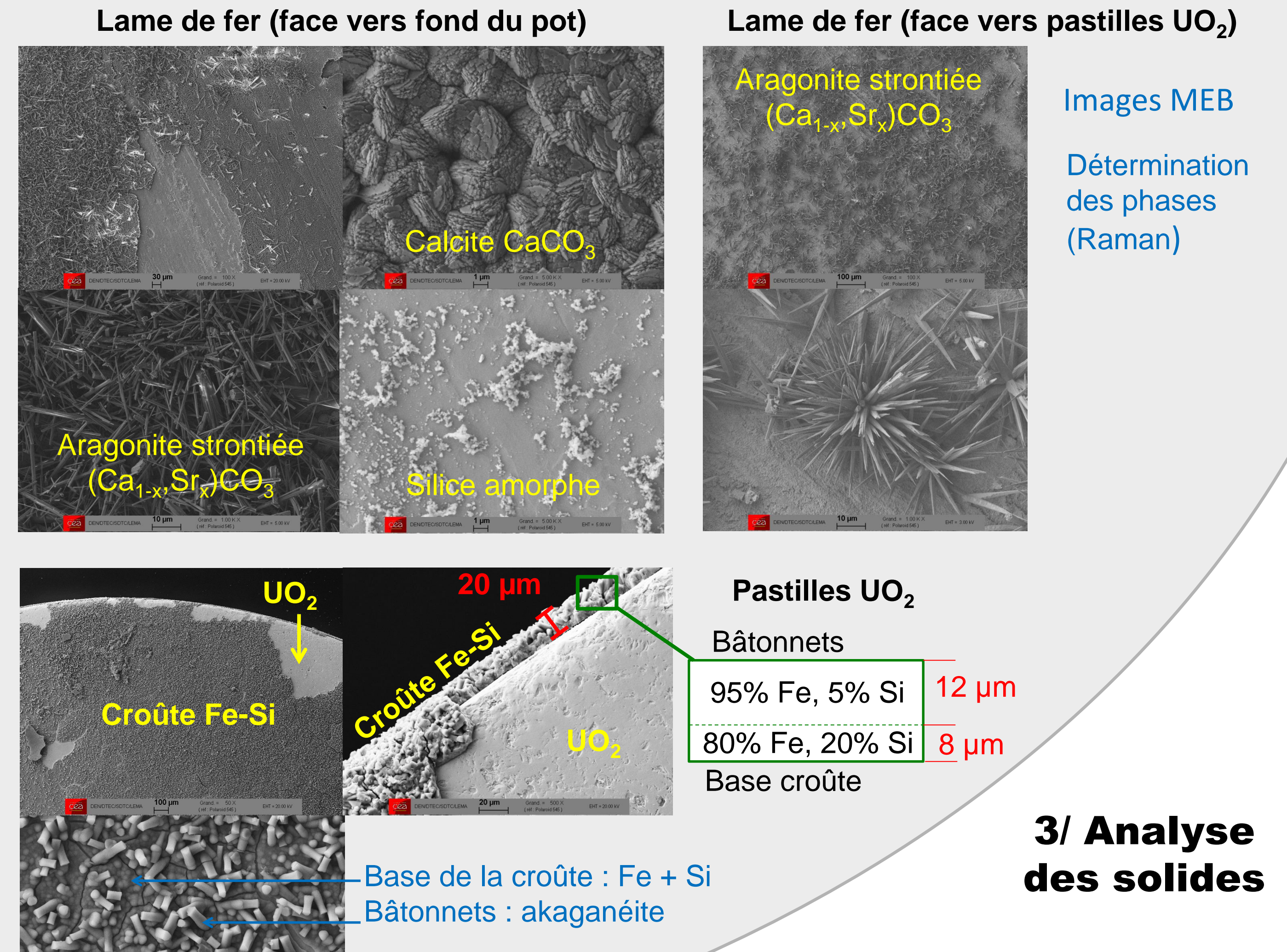
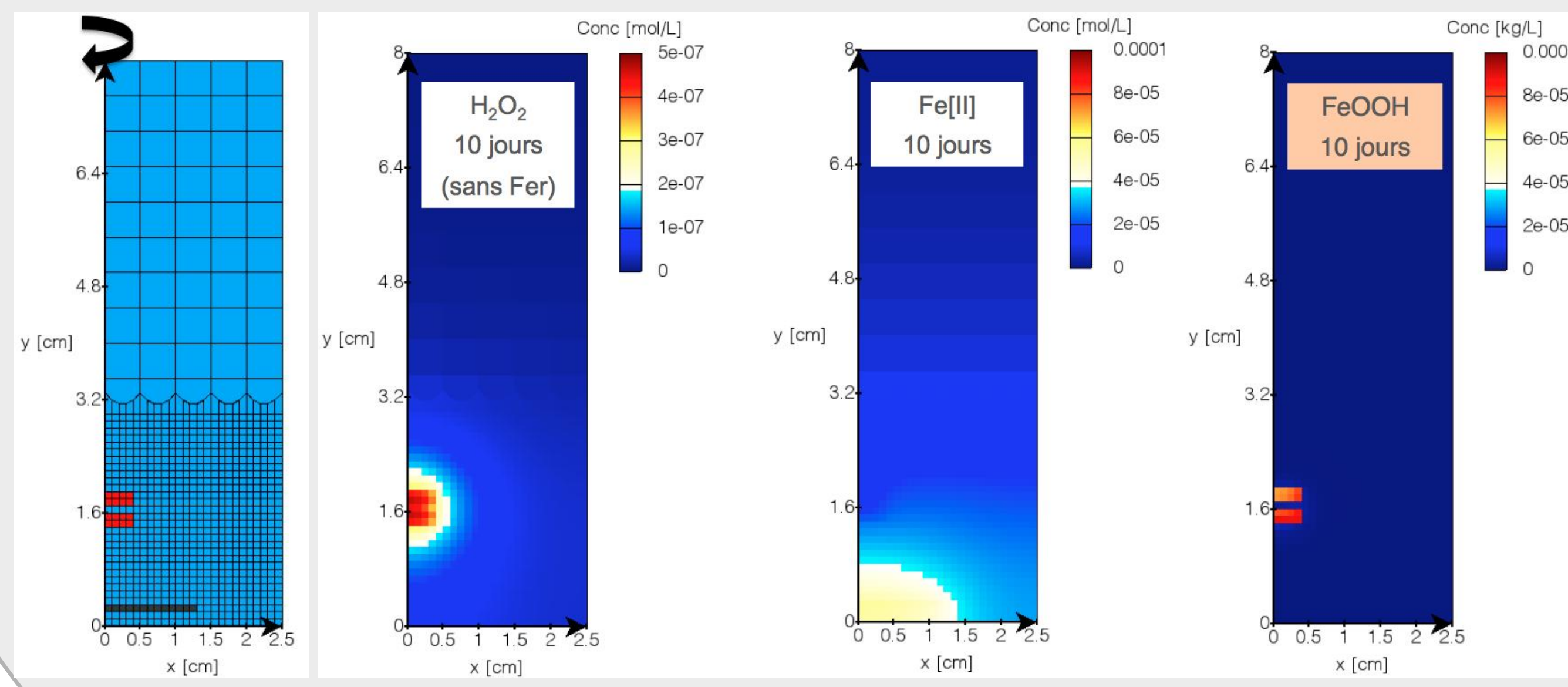
### 1/ Dispositif expérimental



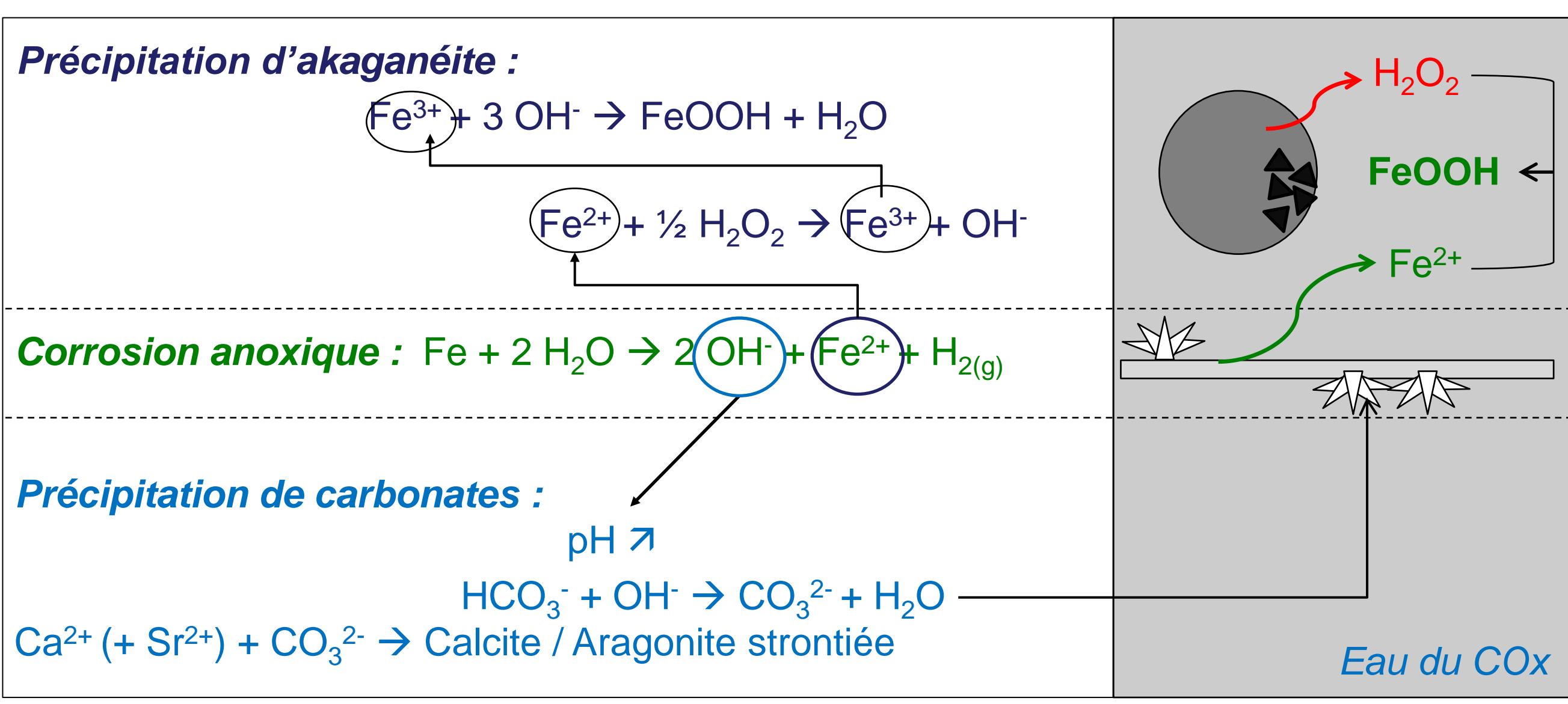
### 2/ Analyses de la solution



### 4/ Modélisation CHES-HYTEC



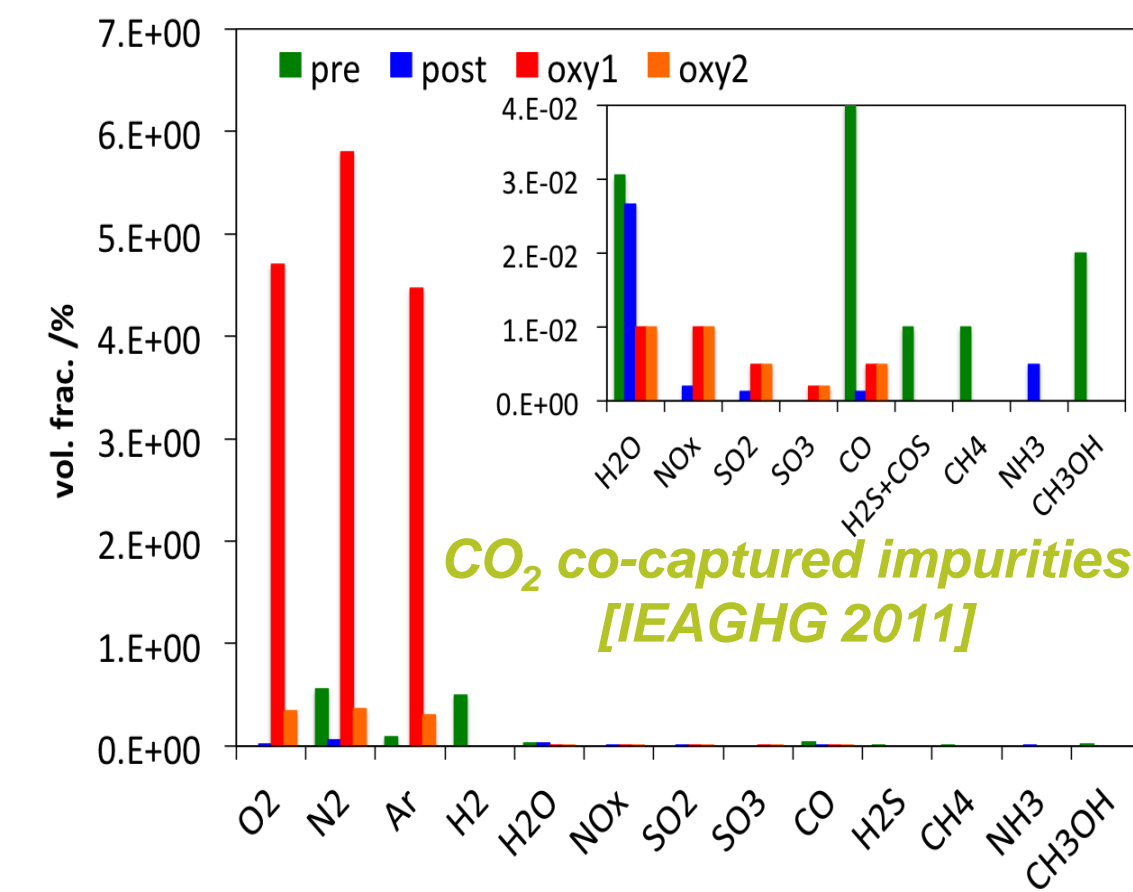
Partenaires



## Synthèse des mécanismes réactionnels et perspectives

■ Perspectives : cette expérience sera réitérée avec des pastilles d'UO<sub>2</sub> d'activité plus faible produisant donc moins de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> d'une part, et des fragments de MOX irradié d'autre part.

## 1/ INTRODUCTION



When capturing CO<sub>2</sub>, the collected gas mixtures vary considerably both qualitatively and quantitatively. Co-injected with CO<sub>2</sub>, these impurities might be an issue in case of leakage but may also impact the subsurface. Operators of the whole CCS chain in terms of admissible concentrations while regulators are waiting for tools allowing them to formulate these recommendations.

The SIGARRR project aims at proposing accurate reactive-transport simulations of the long-term behavior of CO<sub>2</sub>+co-injected gases within storage sites including reactivity with reservoirs and possible inferences on the environment. First modeling results on water-gas interactions are presented here.

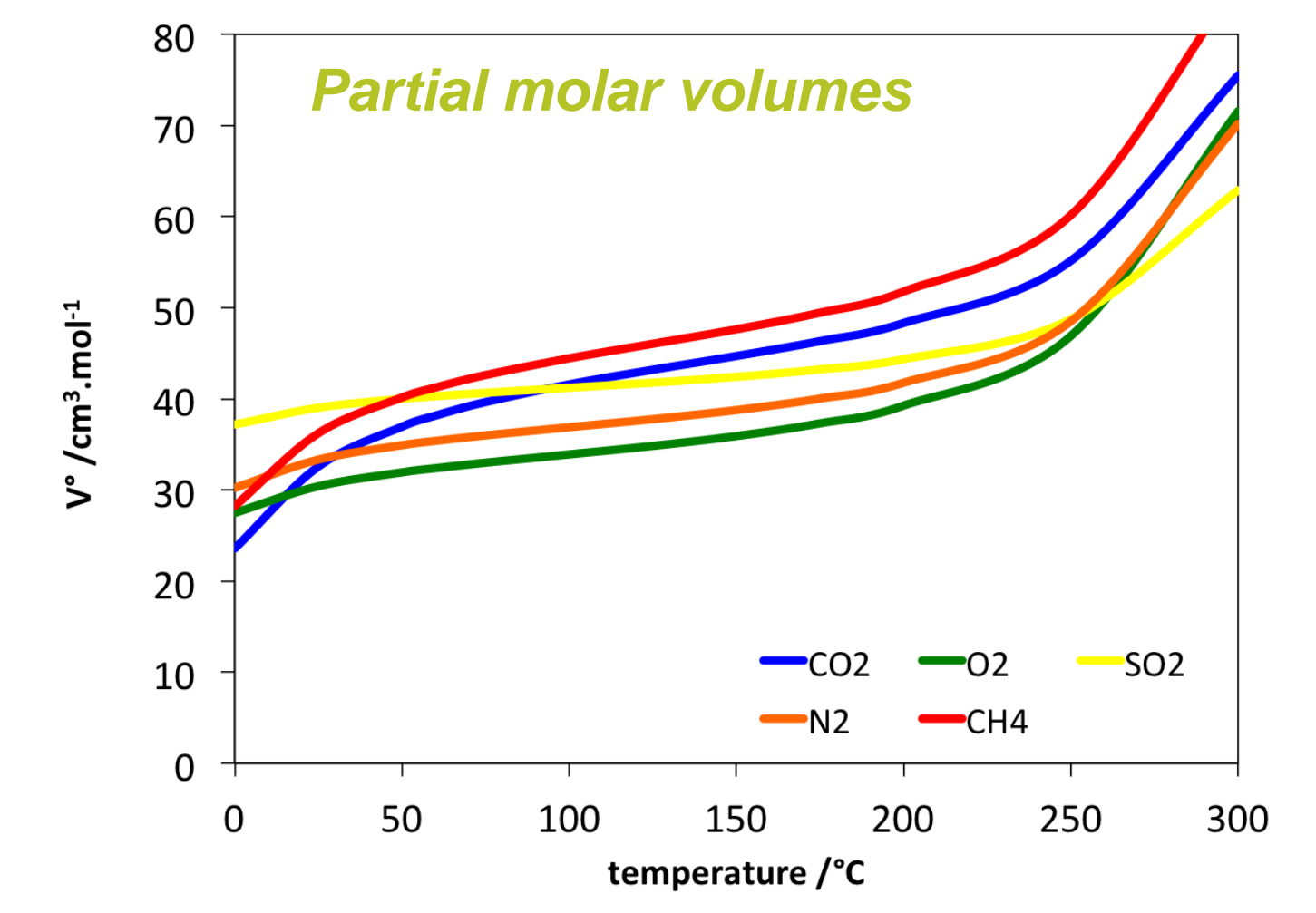
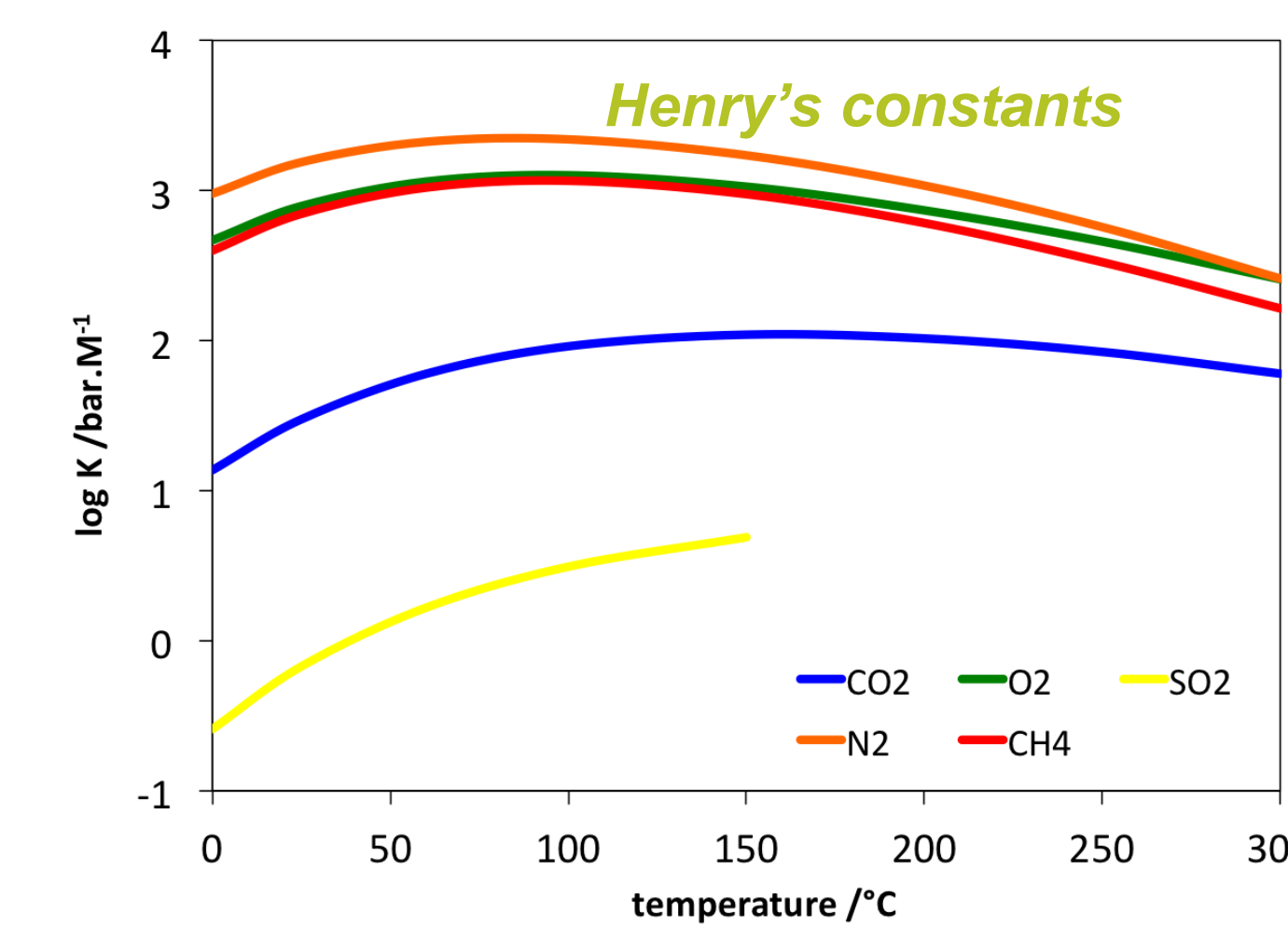
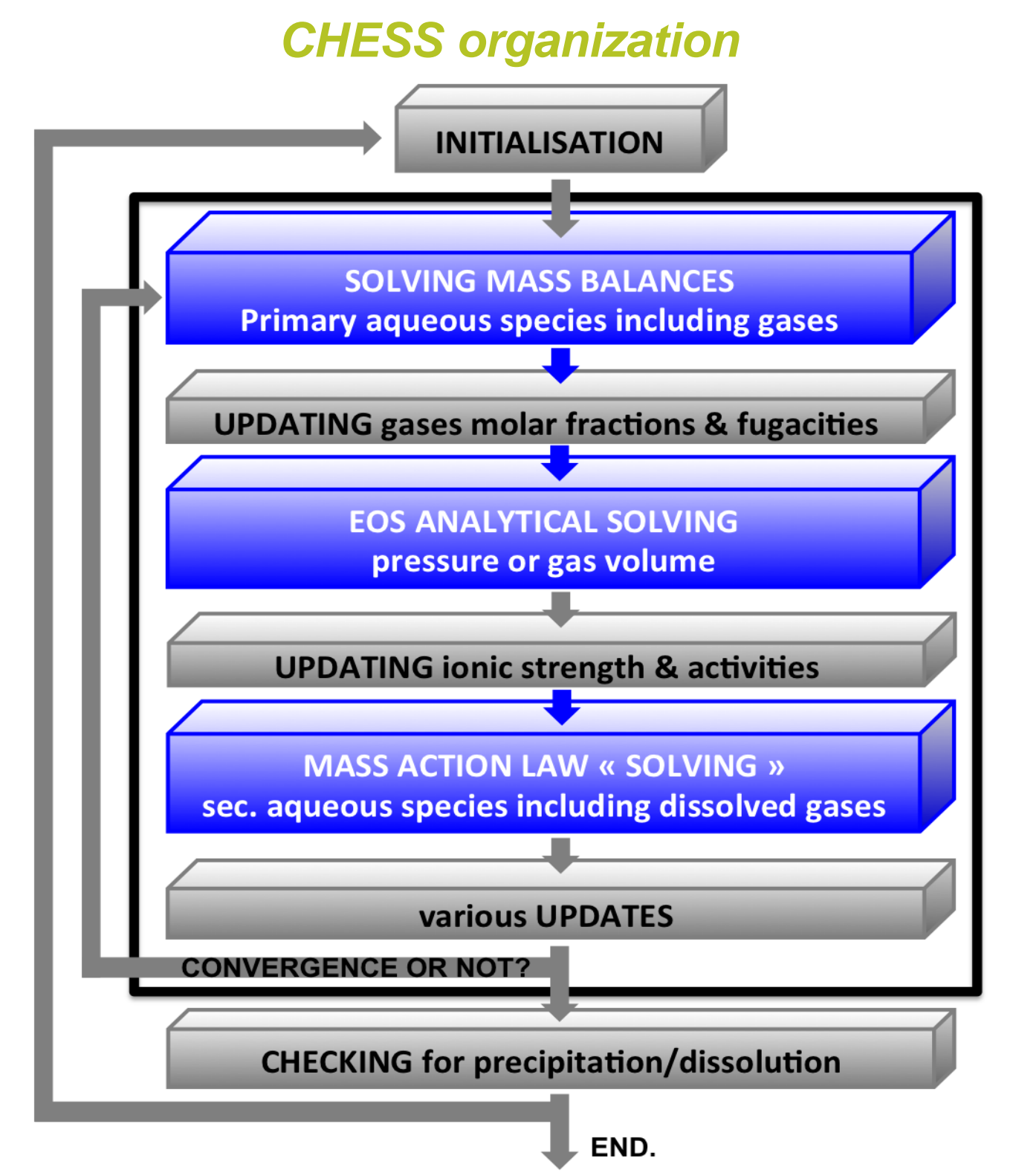
## 2/ MODELING WATER-GAS-ROCK INTERACTIONS USING CHESH/HYTEC

Water/Gas equilibrium involves:  $m_{CO_2(aq)} \gamma_{CO_2(aq)} K_{CO_2(g)}(T, p) = y_{CO_2(g)} \varphi_{CO_2(g)} P$

- Aqueous activity correction (b-dot, SIT, Pitzer...)
- Henry's constant and its pressure correction
- EOS for the gas phase (Peng-Robinson...) + solver (analytic solution for cubic EOS)

and subsequent parameters:

- Critical temperatures and pressures + acentric factors
- Henry's constants ( $p^{sat}$ ) + partial molar volumes for dissolved gases
- Binary interaction parameters for gases and dissolved gases

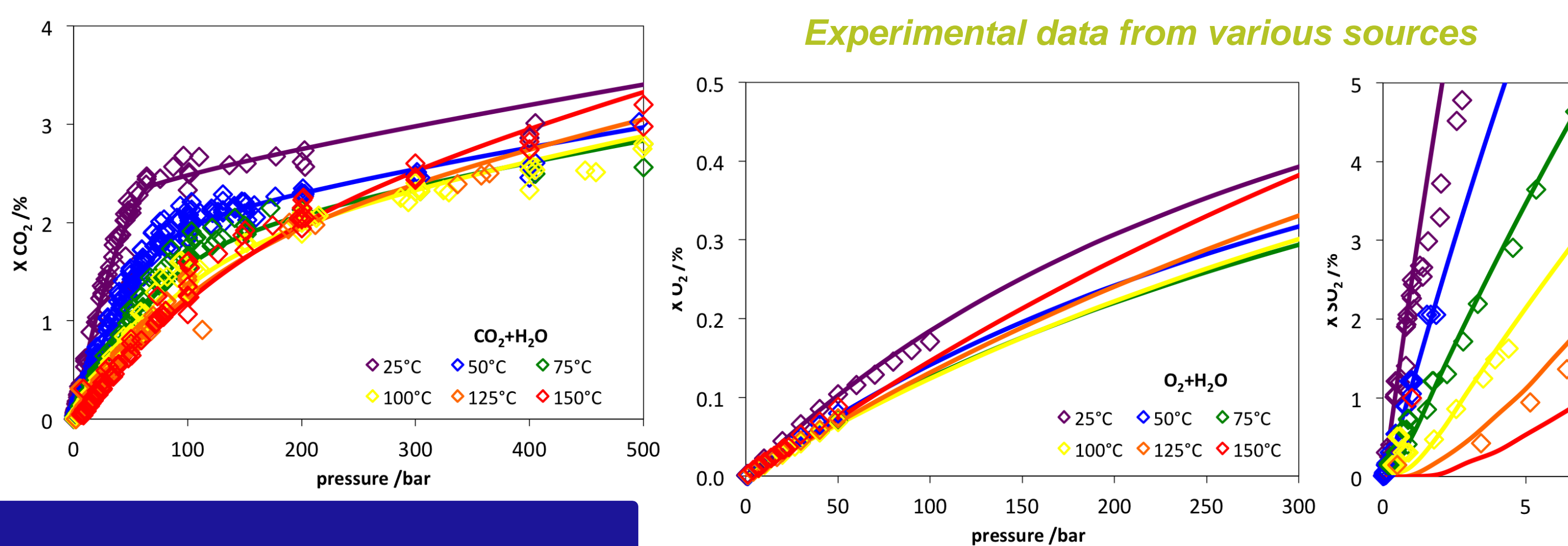


## 3/ FIRST SIMULATIONS ON EXISTING EXP. DATA

- Geochemical model using CHESH + LLNL database V8.R6
- Henry's constants from various sources
- HKF model for partial molar volumes with parameters from various sources
- Binary interaction parameters from various sources

First calculations to test our model and validate our methodology reproducing experimental water solubilities.

### 3-1/ CALIBRATION ON PURE GAS-WATER SYSTEMS



very good agreement other large pressure, temperature and composition ranges (up to 150° C and 600 bars)

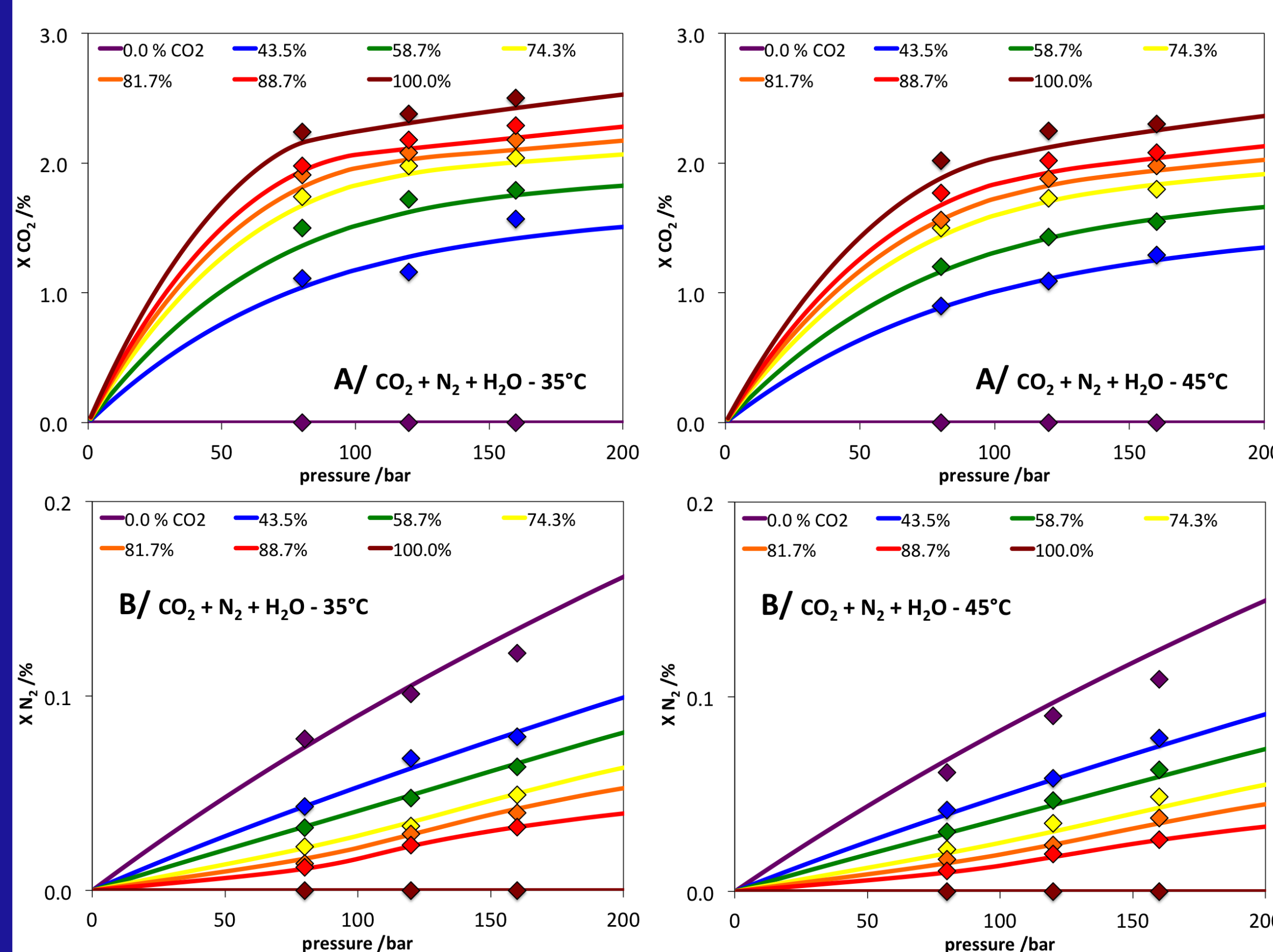
lacking O<sub>2(g)</sub> and SO<sub>2(g)</sub> data at high pressure

correlation: quantity of exp. data / modeling accuracy → Henry's constants & molar volumes (SO<sub>2(g)</sub>...)

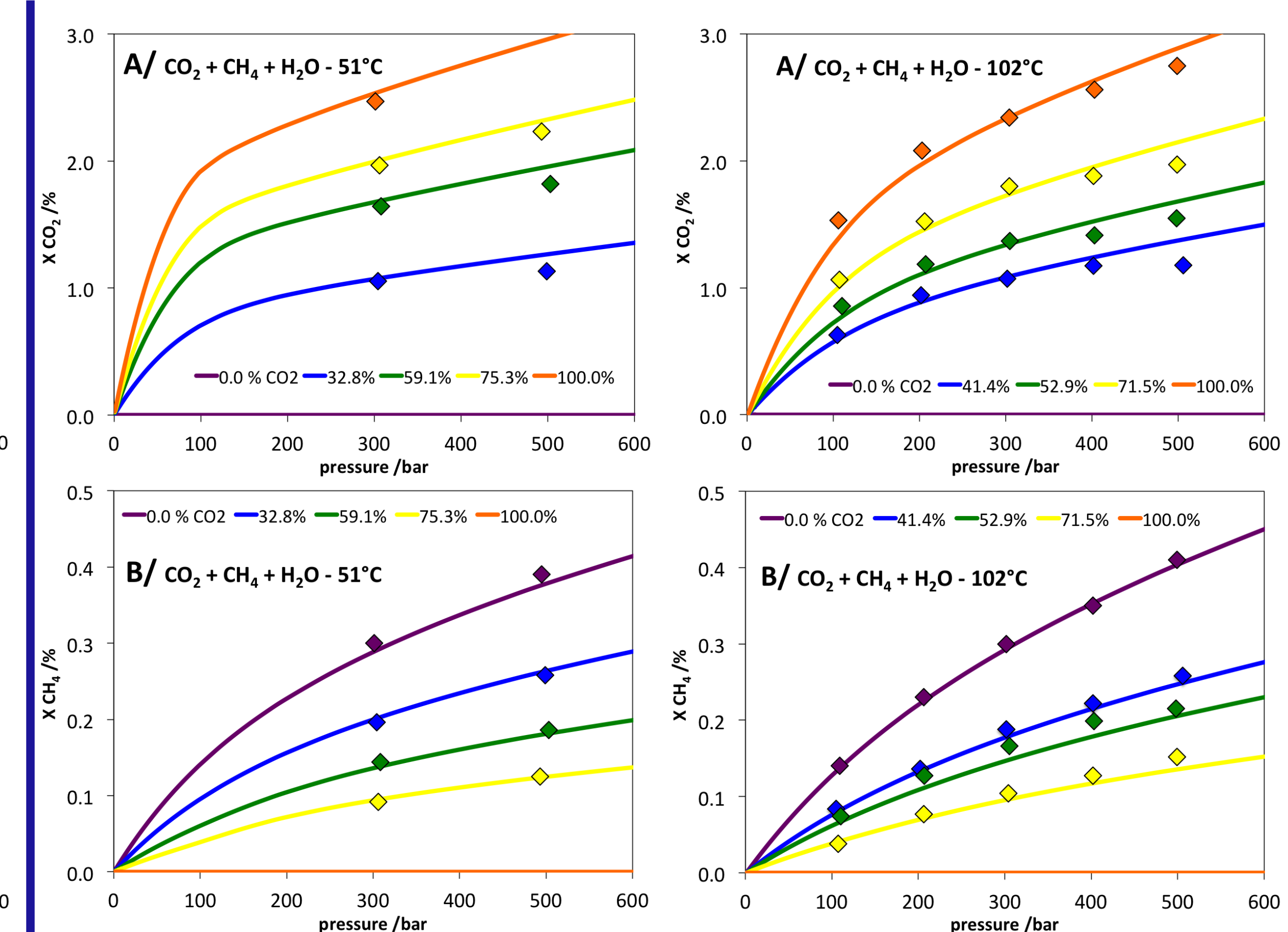
illustration of a direct impact of a non-reactive impurity on CO<sub>2(g)</sub>, decreasing significantly its solubility and then its potential storage

### 3-2/ VALIDATION ON GAS MIXTURE-WATER SYSTEMS

CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O simulations vs experimental results [Liu et al. 2012] at 35 & 45° C and pressures up to 200 bars



CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O simulations vs experimental results [Qin et al. 2008] at 51 & 102° C and pressures up to 600 bars

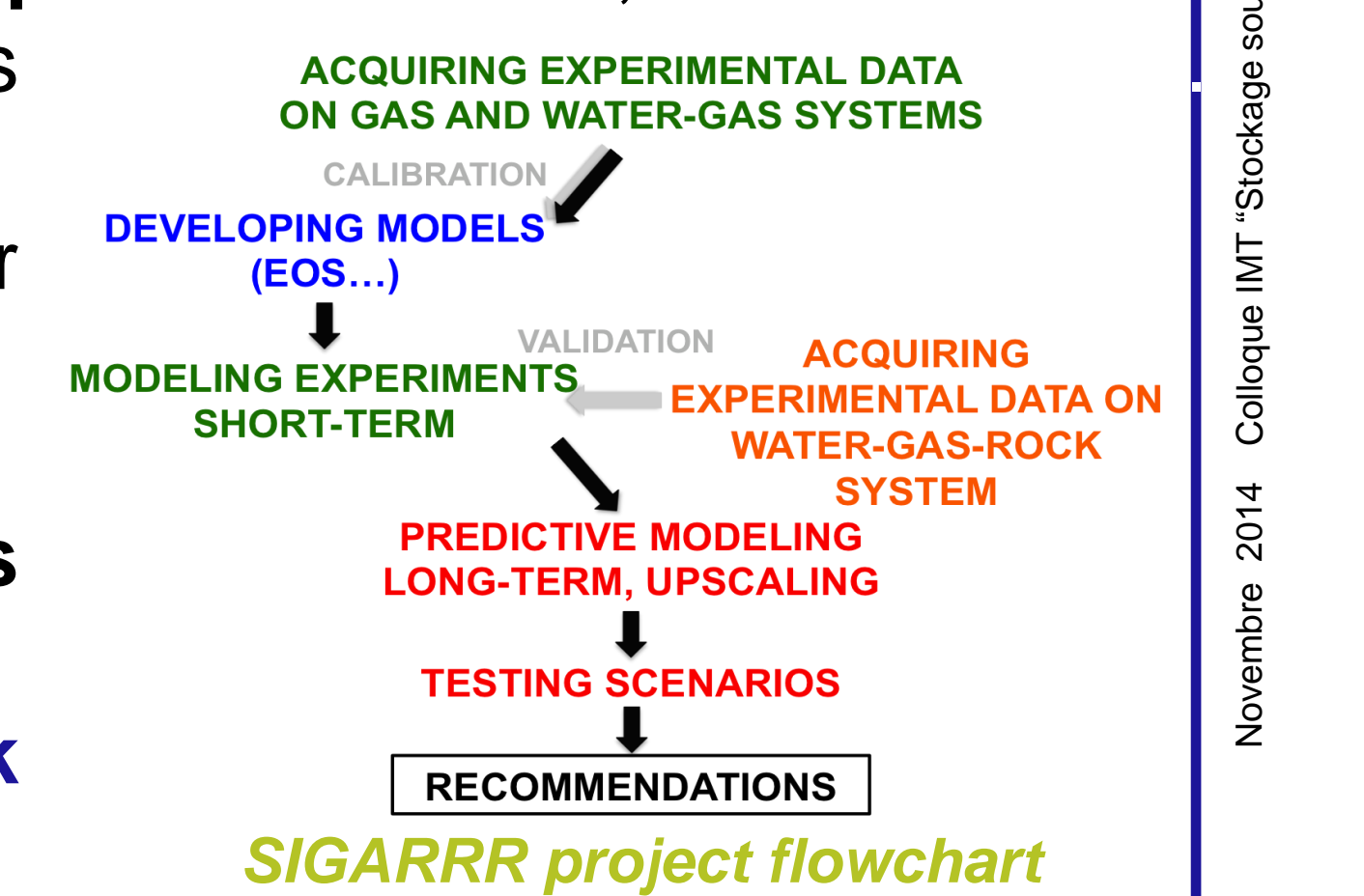


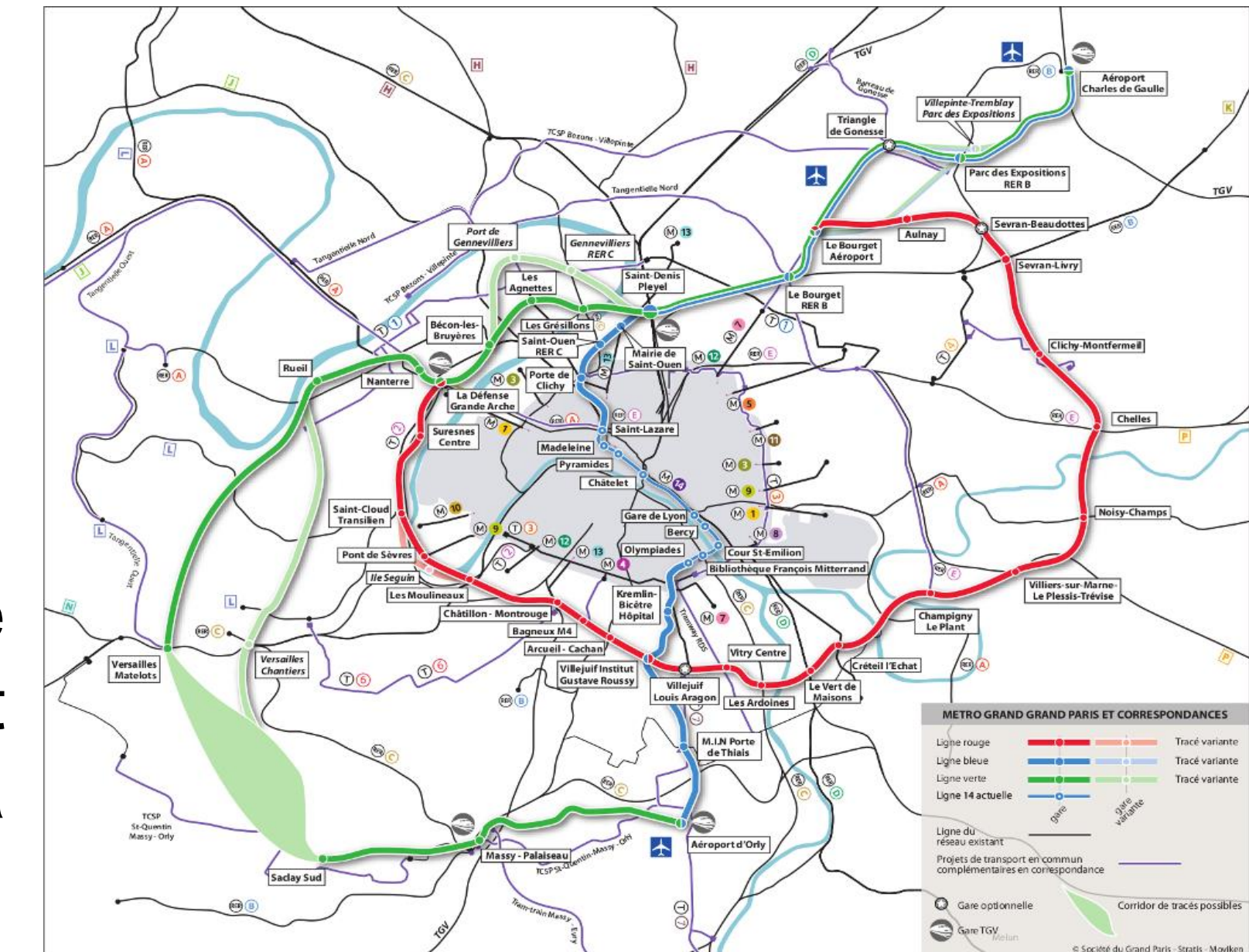
## 4/ CONCLUSIONS

The approach is very satisfactory regarding the agreement between numerical results and experimental data, but simulations depend a lot on the availability and quality of thermodynamic data (SO<sub>2</sub> higher pressure, other impurities NO...).

The SIGARRR project will thus keep combining numerical and experimental/pseudo-experimental (i.e. molecular simulation) efforts aiming at:

- Improving/extending classical thermodynamic databases, like THERMOCHEM [Blanc et al. 2012].
- Validating how geochemical codes handle reactivity comparing simulations with experiments investigating gas mixtures+brine+reservoir rocks systems in realistic pressure and temperature conditions.
- Performing site-scaled simulations of leakage scenarios involving complex gas mixtures and the associated risk analysis, trying to formulate recommendations for geochemically admissible CO<sub>2</sub> flux composition.





Application moyen terme  
le Grand Paris  
155 km lignes  
40 stations  
23,5 Md €  
Infrastructure : 80%  
Tracé souterrain à 80%

## Partie prenante

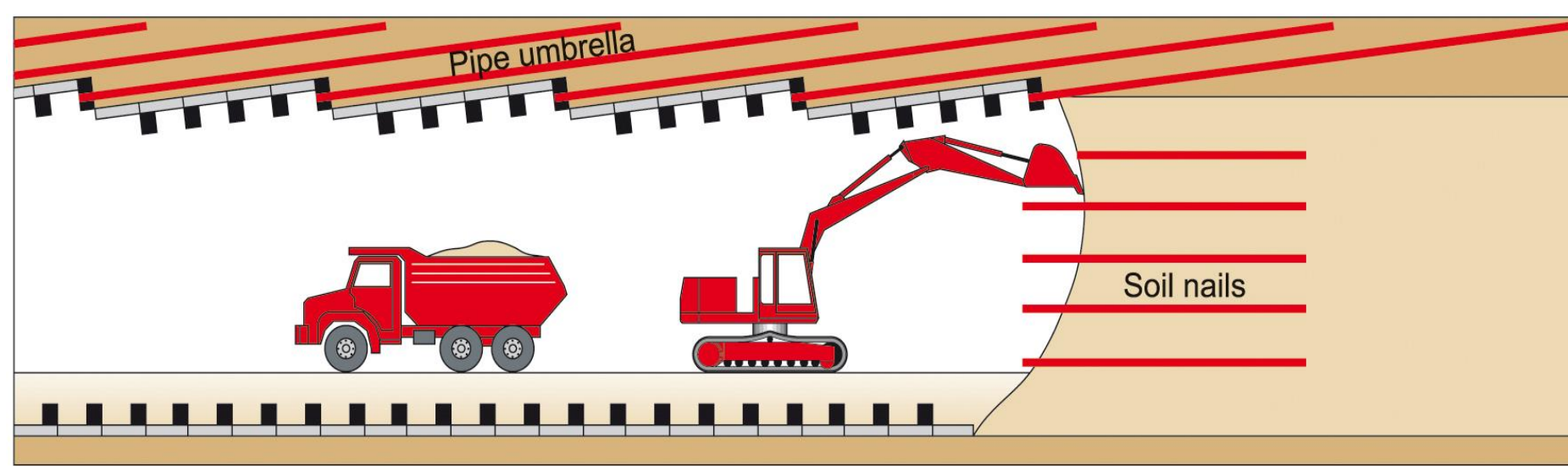


■ Alors qu'on ne comptait que 2 villes de plus de 10 millions d'habitants en 1950, on en attend une trentaine à l'horizon 2025. Les métropoles se multiplient, se densifient, et les réseaux de transport, notamment souterrains, doivent s'adapter, s'étendre. Les contraintes économiques imposent un creusement à faible profondeur où le sous-sol urbain est déjà largement occupé.

■ La plupart des lignes souterraines sont creusées au tunnelier, avantageux en termes de rendement et de maîtrise des tassements en surface, mais le recours à la méthode conventionnelle de creusement reste nécessaire pour certains ouvrages (gares, stations et accès) ainsi que pour un certain nombre de tronçons complexes (venues d'eau, géologie particulière).

■ Néanmoins la méthode conventionnelle conduit à des tassements en surface qui limitent son domaine d'application. Une des solutions pour la rendre compétitive consiste à mettre en place un présoutènement dans le but de réduire les mouvements qui se produisent à l'avant du front du tunnel.

■ L'équipe GIG du centre de Géosciences participe au projet de recherche «NEWTUN» soutenu par le FUI. Ce projet vise à mettre en œuvre le présoutènement dans la méthode conventionnelle dans le but de réduire les impacts du creusement sur l'environnement urbain fragile.

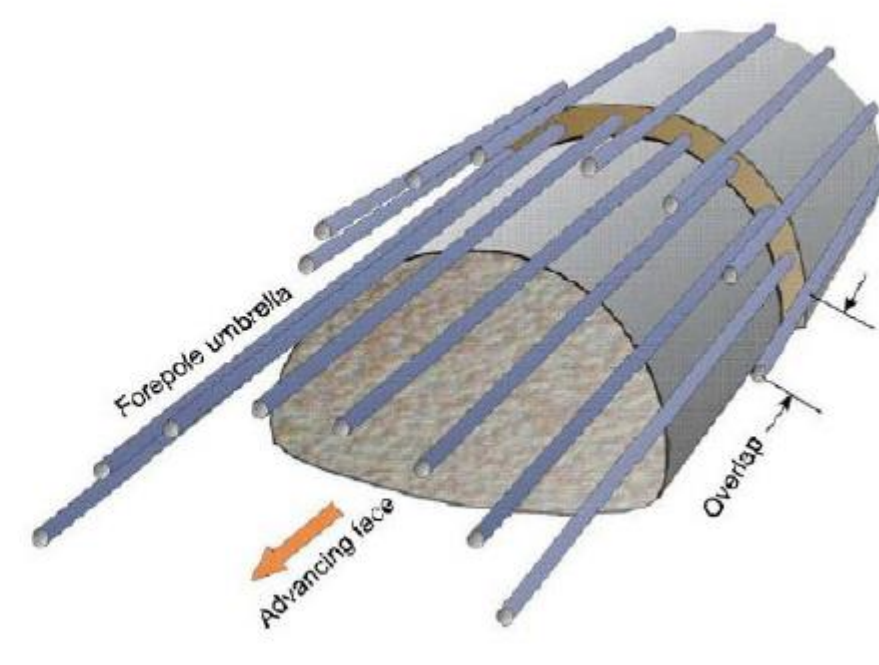


■ Le présoutènement comprend :

- des boulons en fibre de verre installés au front de taille
- des tubes en acier formant une voûte parapluie

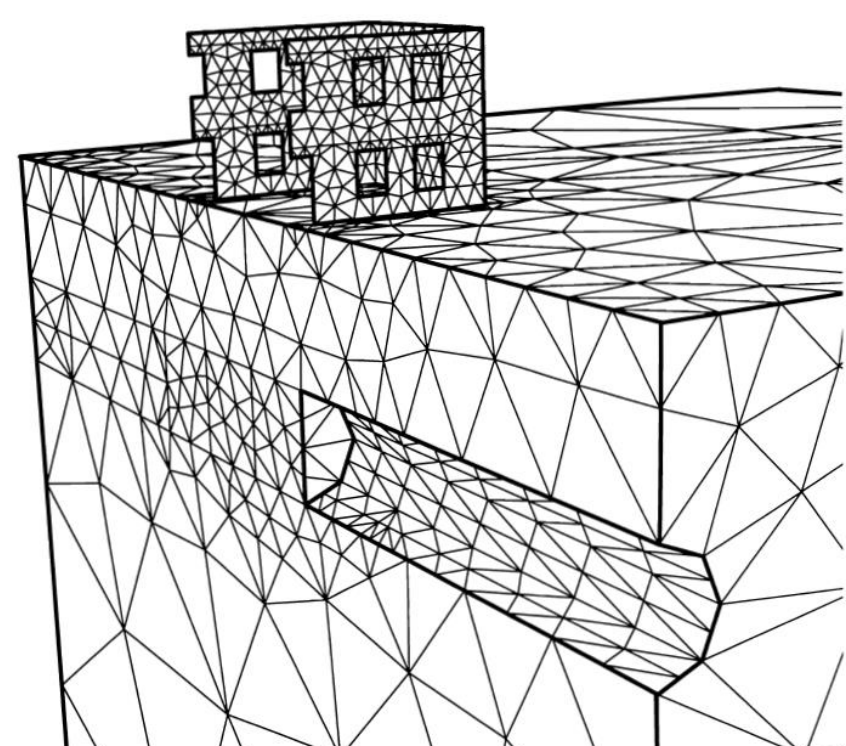


Voûte parapluie



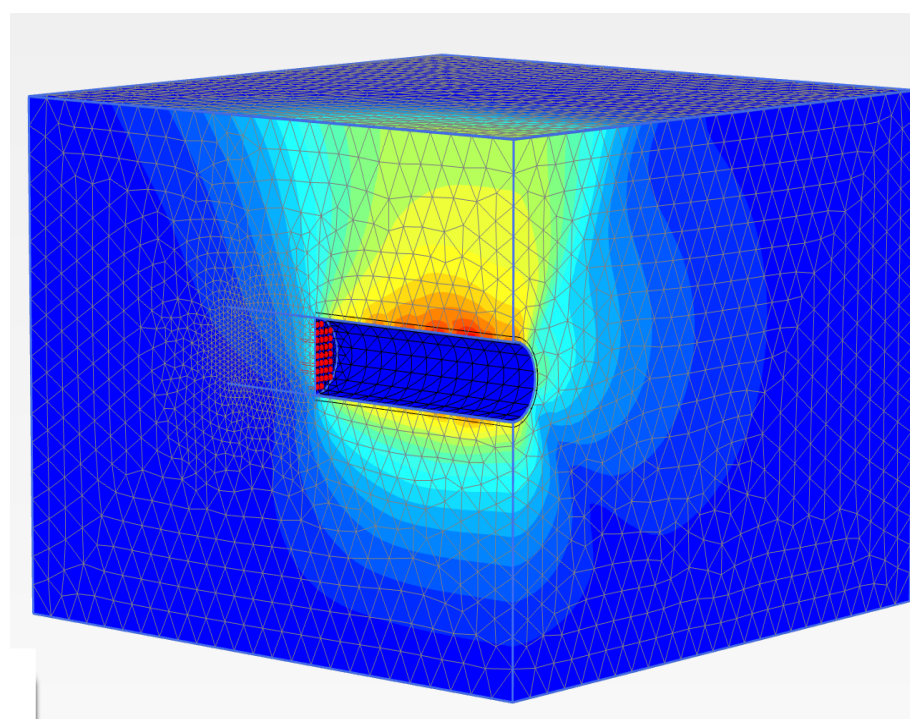
## Modélisation de l'interaction sol-structure

Afin de contrôler les tassements en surface, il faut prédire la réponse d'ensemble du système sol-structure au creusement. Cela se fait par modélisation par éléments finis :



■ La modélisation du comportement du sol au cours de l'excavation afin de calculer la cuvette de tassement. Pour cela un modèle rhéologique basé sur les modèles Cam-Clay et Drucker-Prager a été développé. Ce modèle tient compte correctement du chemin de contrainte créé lors de l'excavation.

■ La modélisation des éléments du présoutènement pour rendre compte de l'interaction soutènement-sol. Un modèle d'interface a été développé à partir d'essai effectués au laboratoire avec un banc dédié.



## Auteurs

Emad Jahangir  
Isabelle Thénevin  
Faouzi Hadj Hassen  
Jacques Schleifer

Centre de Géosciences  
Géologie de l'ingénieur et  
Géomécanique.

## Partenaires

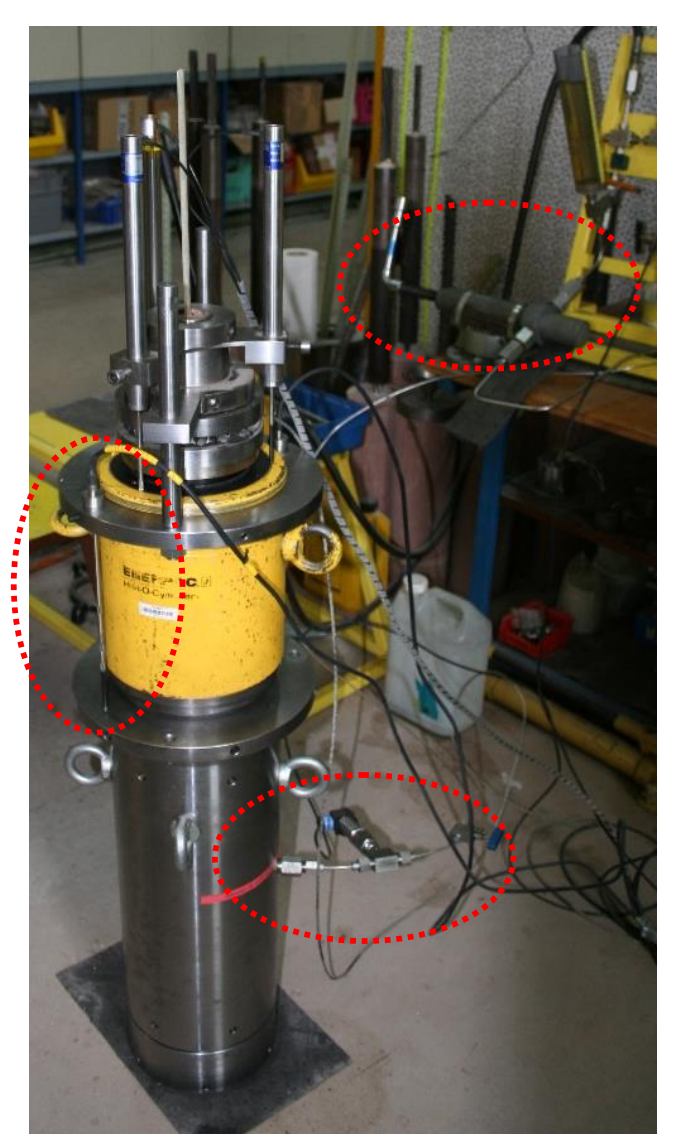
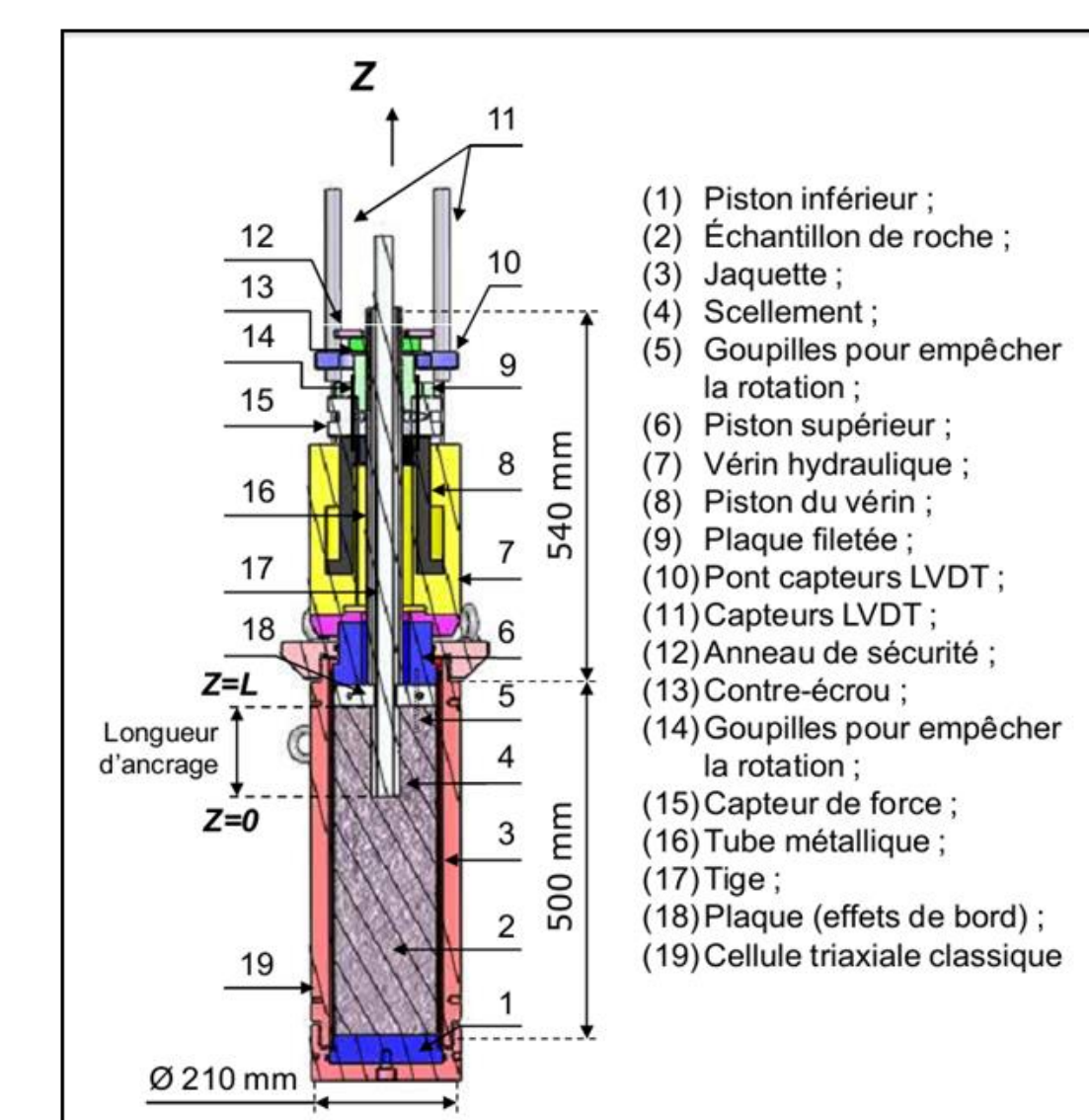


## Moyens expérimentaux

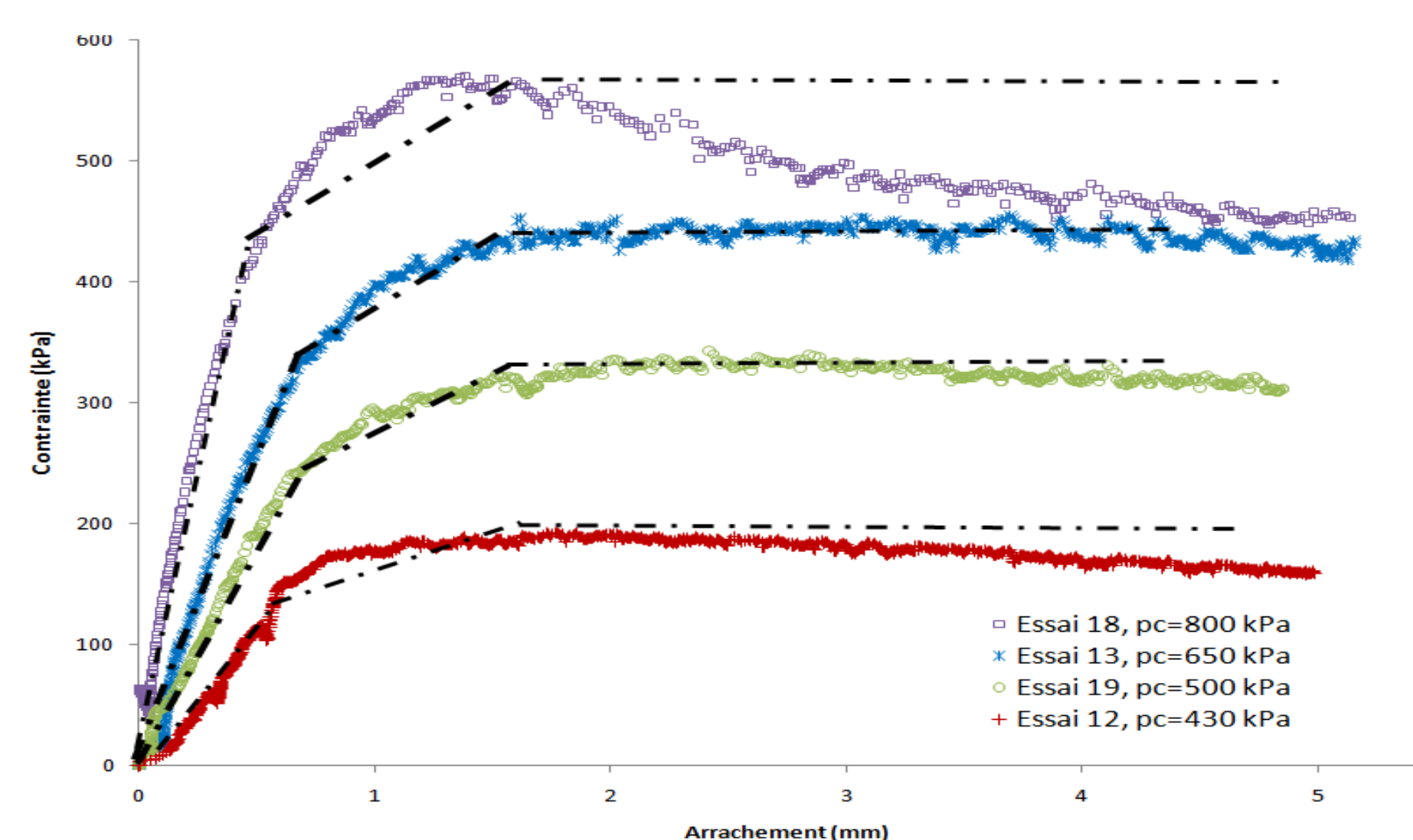
■ Le Centre de Géosciences dispose d'un banc d'essais d'arrachement d'inclusions à confinement contrôlé.

■ Ce banc permet de tester différents types d'inclusions (boulons métallique ou en fibre de verre, câbles,...) ancrés dans différents type des matériaux (sol, roche, béton, ...) et avec différents types de scellements (coulis de ciment, résine, ...).

■ Les résultats d'essais permettent d'établir des lois d'interface.



Banc d'essais d'arrachement d'inclusions



Résultats d'essai pour différents confinement imposé et le modèle proposé

## Parties prenantes



## Auteurs

Abed Benaïchouche  
Olivier Stab  
Bruno Tessier  
Isabelle Cojan  
Michel Tijani

## Partenaire



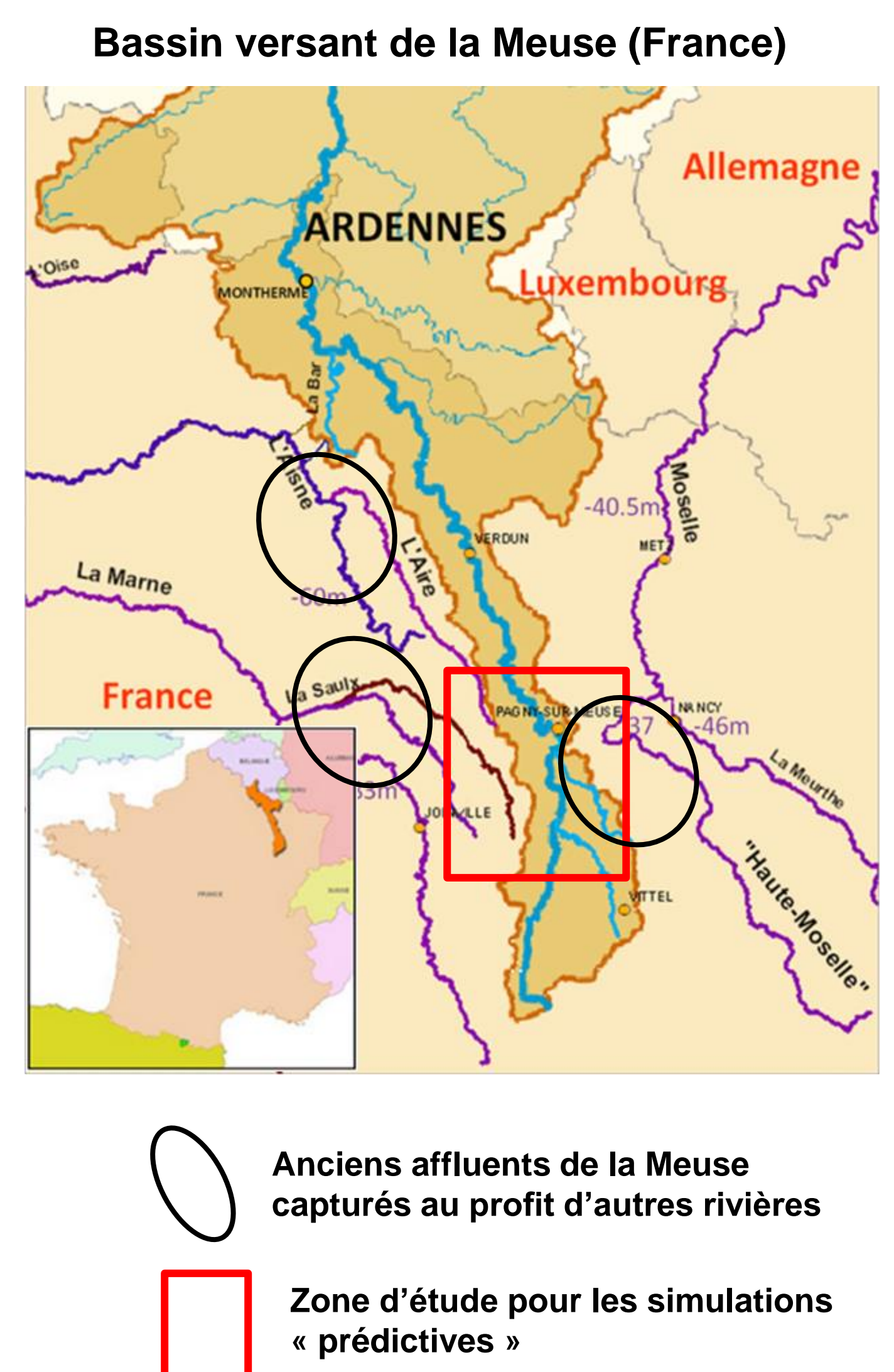
## EVOLUTION DES PAYSAGES ET CAPTURES

### Contexte long terme – 1Ma

■ L'ANDRA étudie la possibilité d'un stockage de déchets hautement radioactifs à vie longue (HAVL) dans les couches argileuses profondes du Callovo-Oxfordien en Meuse Haute-Marne. Les simulations hydrogéologiques du comportement des « aquifères » dépendent en partie des conditions aux limites imposées au modèle : c'est-à-dire de la position de la surface topographique et plus particulièrement de celle du fond des vallées des rivières.

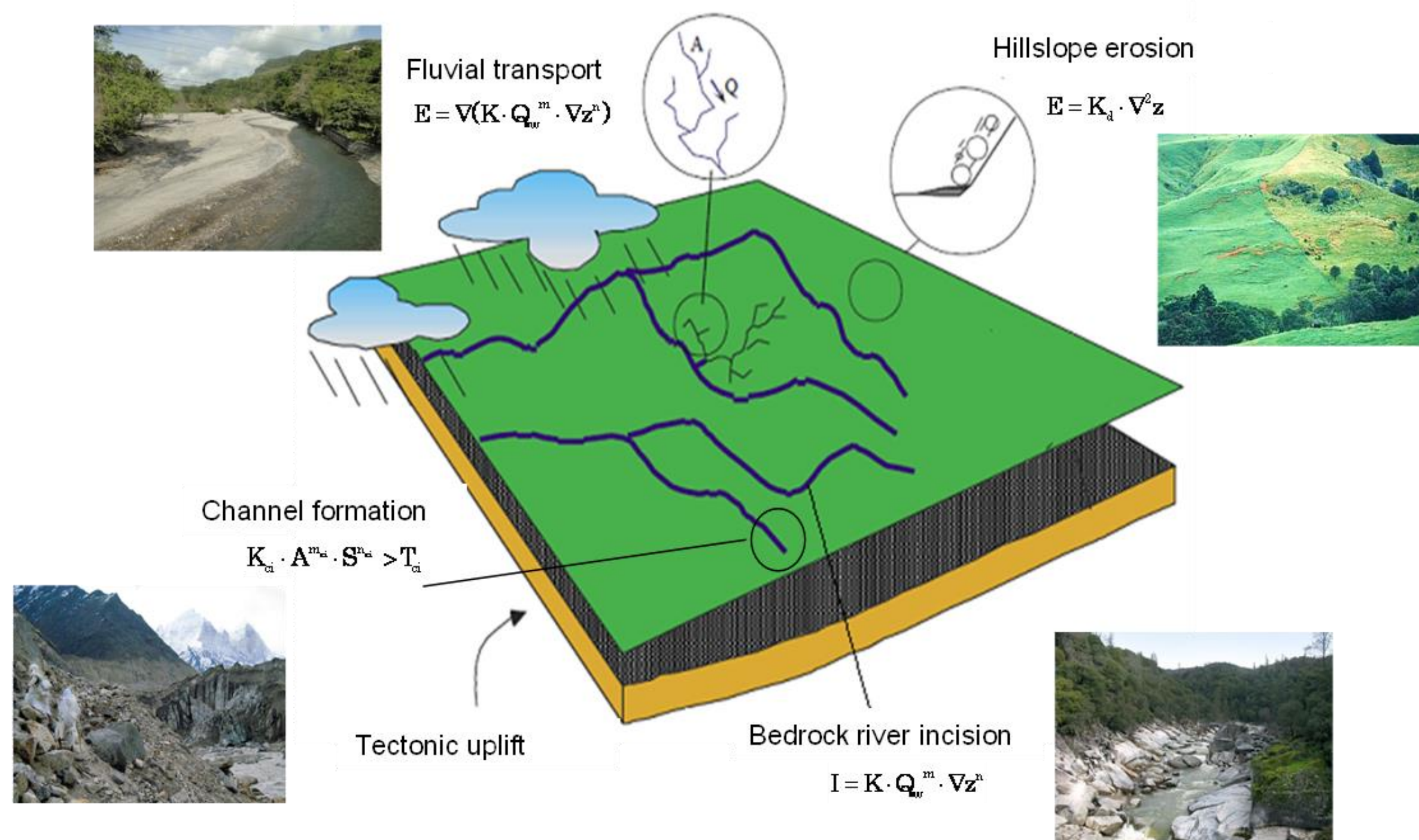
■ Le profil des vallées fluviales répond aux modifications des conditions hydrodynamiques pilotées par les fluctuations climatiques et les modifications du réseau de drainage. La Meuse est un cours d'eau ébranché qui a subi de profondes modifications depuis 1Ma suite aux nombreuses captures de ses affluents par les cours d'eau voisins.

■ La modélisation physique permet à partir de jeux de simulations multiples de proposer les scénarii futurs les plus plausibles en terme de captures ainsi que leur calendrier pour le prochain million d'années.



## MODELES D'EVOLUTION DES PAYSAGES

### Modèles physiques



■ Aux longues échelles de temps, les modèles simulent les interactions entre processus à l'aide d'équations de diffusion et d'advection.

■ Les paramètres de ces équations, qui peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur, sont généralement calés à partir de régressions entre les données de terrain. Les hypothèses utilisées sont cependant discutables dans notre contexte.

■ Nous avons donc privilégié une approche par analyse de sensibilité pour estimer l'influence des paramètres du modèle sur la localisation et l'ordre de capture futures.

## EXPLORATION DES SCENARII POTENTIELS

### Analyse de sensibilité

■ 15000 simulations ont été réalisées avec le logiciel Golem (Tucker et Slingerland, 1994) faisant varier les paramètres des équations du modèle de plusieurs ordres de grandeur.

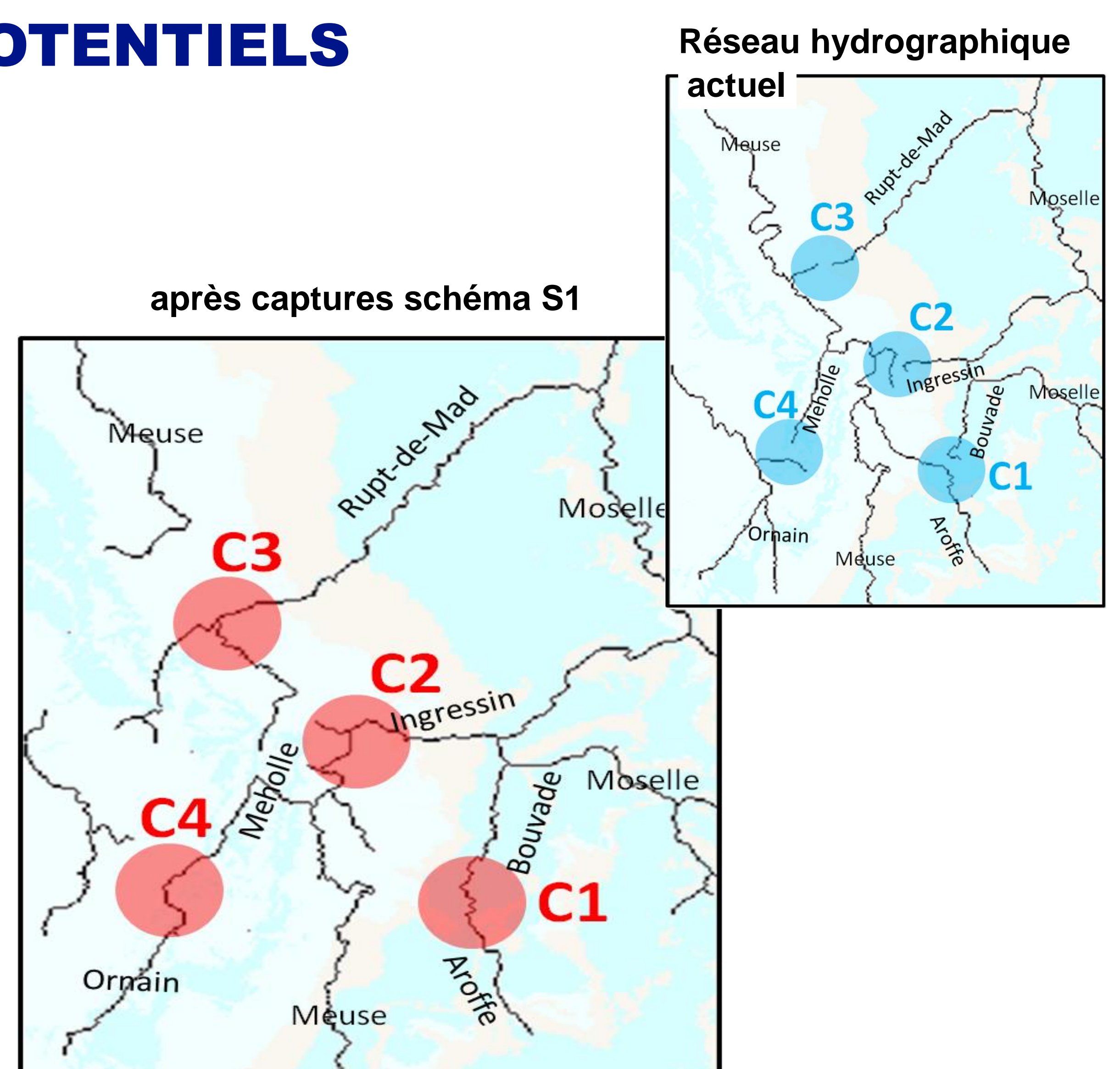
■ Les résultats ne montrent que 4 lieux de capture sur la zone d'étude (notés C1, C2, C3 et C4) qui produisent cependant 3 schémas différents selon la chronologie des événements :

$$S1 = \{C1, C2, C3 \text{ et } C4\}$$

$$S2 = \{C3, C4\}$$

$$S3 = \{C1, C3, C4\}$$

■ Les paramètres qui contrôlent le schéma d'évolution ont été identifiés :  $K_d$  et  $m_b/n_b$ , ils traduisent la compétition entre l'incision des rivières et l'érosion des versants.



## Simulations de transferts réactifs en milieu poreux

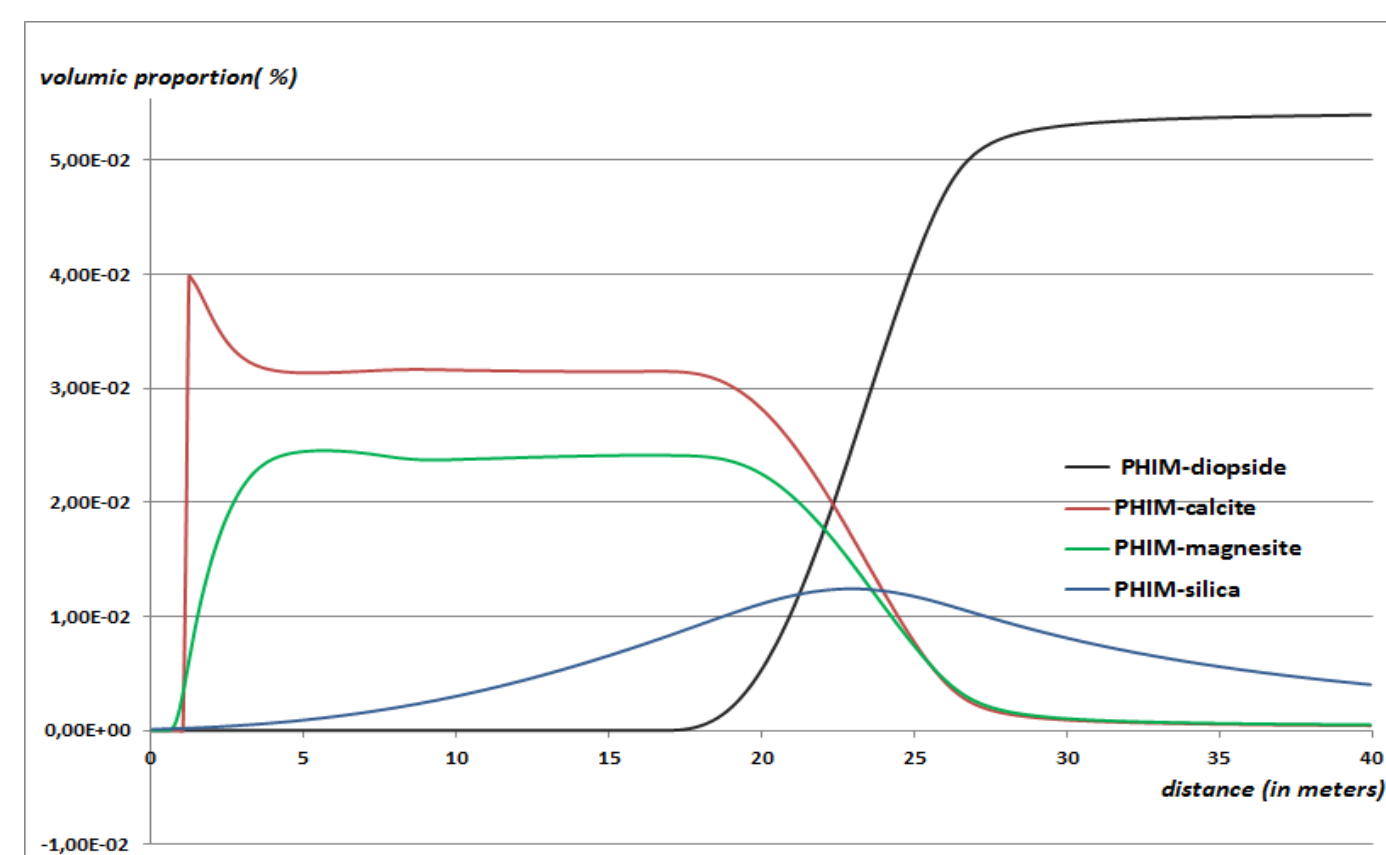
### Prévision des propriétés du stockage souterrain du CO<sub>2</sub>

#### Auteurs

Bernard Guy  
Franck Diedro  
Johary Raveloson  
Céline Helbert  
Daniel Garcia  
Chantal de Fouquet  
Anthony Michel  
Jacques Moutte

- Première étape: interaction chimique entre un fluide aqueux enrichi en CO<sub>2</sub> et un réservoir rocheux de composition prise **constante** dans l'espace
  - Seconde étape: introduction d'une **variabilité spatiale** - par souci de réalisme géologique, - pour étudier la propagation d'incertitudes sur les propriétés du stockage
- Logiciel utilisé: COORES (développement IFPEN et Mines Saint-Etienne)

#### Partenaires



Dissolution du diopside et précipitation de carbonates, cas homogène (système 2)

## Introduction de la géostatistique

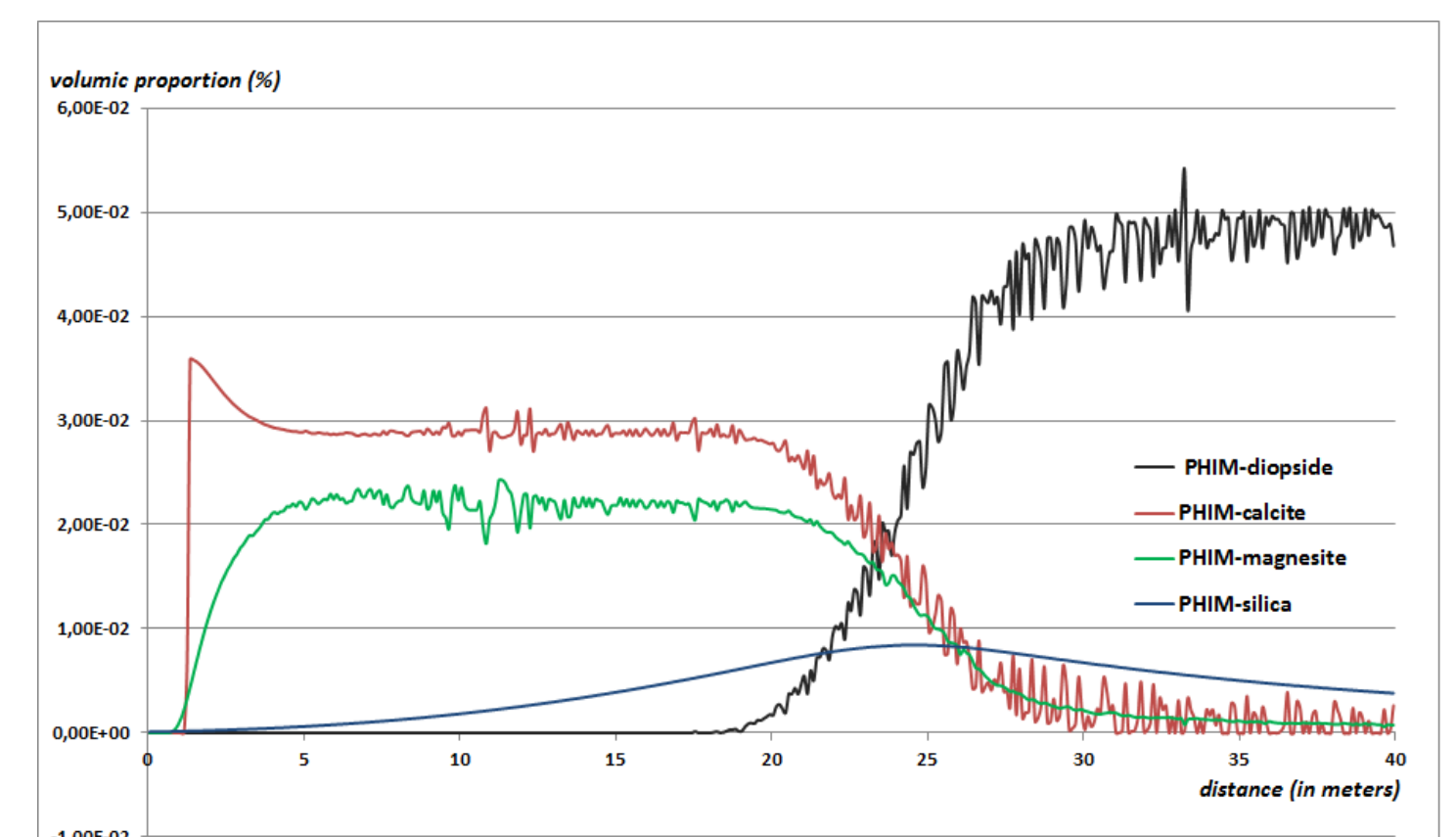
### Etude de systèmes modèles simples

- Système 1: calcite, dolomite, albite, clinocllore, K-feldspath, kaolinite, quartz (réservoirs carbonatés)
- Système 2: diopside, quartz (inerte), calcite, magnésite, silice amorphe (roches basiques et ultrabasiques)
- Variabilité spatiale de la condition initiale structurée: paramètres: portée, palier et seuillage du variogramme
- Grandeurs d'entrée concernées: paramètres pétrophysiques et mode des minéraux (système 1); paramètres thermodynamiques et de **cinétique chimique** (9 classes de diopsides de  $k_{\text{cinétique}}$  différents) (système 2)
- Paramètres de sortie: paramètres de stockage: quantités de minéraux dissous, quantités de CO<sub>2</sub> stockée, variation de la porosité

## Etude pragmatique des résultats des expériences numériques

### Analyse des résultats par plans d'expériences

- Variabilité du tirage inférieure à l'effet de l'incertitude sur les paramètres du variogramme
- Effet de dispersion/taille des minéraux (à quantité égale) sur les quantités dissoutes ou précipitées
- corrélation spatiale élevée + grande variance de dispersion  $\Rightarrow$  réactivité plus importante des minéraux (perturbation du paramètre de cinétique chimique)
- Changement d'échelle sur le paramètre de cinétique chimique, influencé par l'historique de la dissolution (propagation des fronts de réaction dans le réservoir)



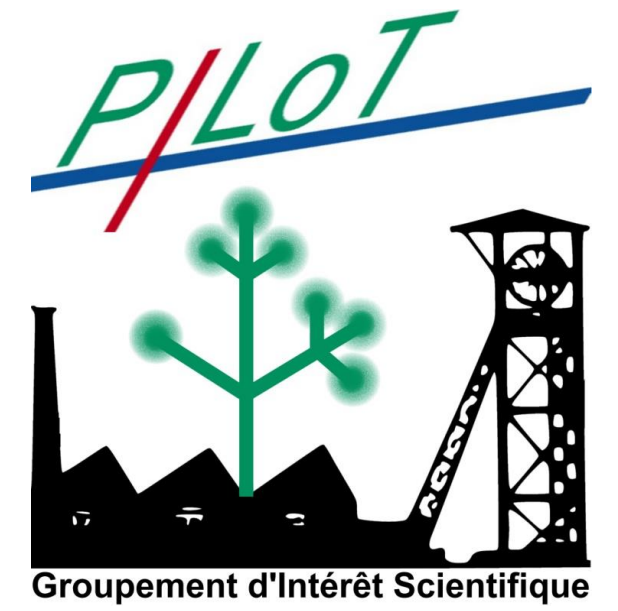
Dissolution du diopside et précipitation de carbonates, cas hétérogène (système 2)

## Références

- F. Diedro (2009) Influence de la variabilité pétrophysique et minéralogique des réservoirs géologiques sur le transfert réactif, thèse E des Mines de Saint-Etienne
- F. Diedro, C. Helbert, B. Guy & C. de Fouquet (2013) Determination of the effect of geological reservoir variability on carbon dioxide storage using numerical experiments, Oil and gas science and technology, 68, 3, 529-544.
- J. Raveloson (2014) Etude de l'influence de la variabilité spatiale des paramètres thermodynamiques et de cinétique chimique sur la précipitation des minéraux carbonatés en milieu poreux (stockage minéral du CO<sub>2</sub>), thèse E des Mines de Saint-Etienne

# Groupement d'Intérêt Scientifique PILoT

## Redéploiement *Post-Industriel* : *Loire Territoires urbains*



### Auteurs

Jean-Luc Bouchardon vice-président  
Olivier Faure  
Didier Graillot  
Jacques Moutte  
Florence Dujardin  
Frédéric Paron  
Essaïd Bilal  
Véronique Lavastre  
Jean-Yves Cottin président

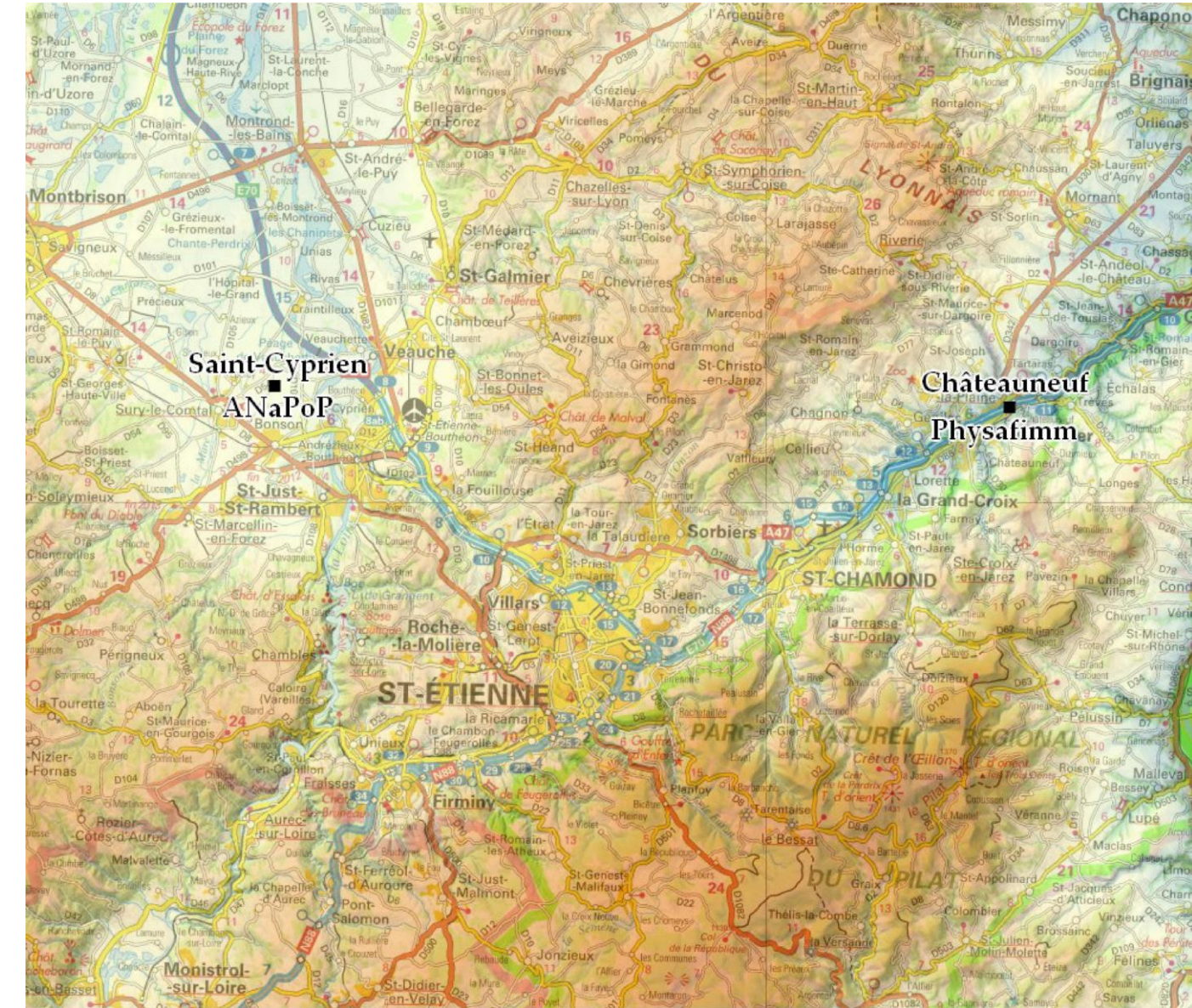
### Partenaires



## Une approche systémique des territoires en voie de réaffectation

### Principe du GIS

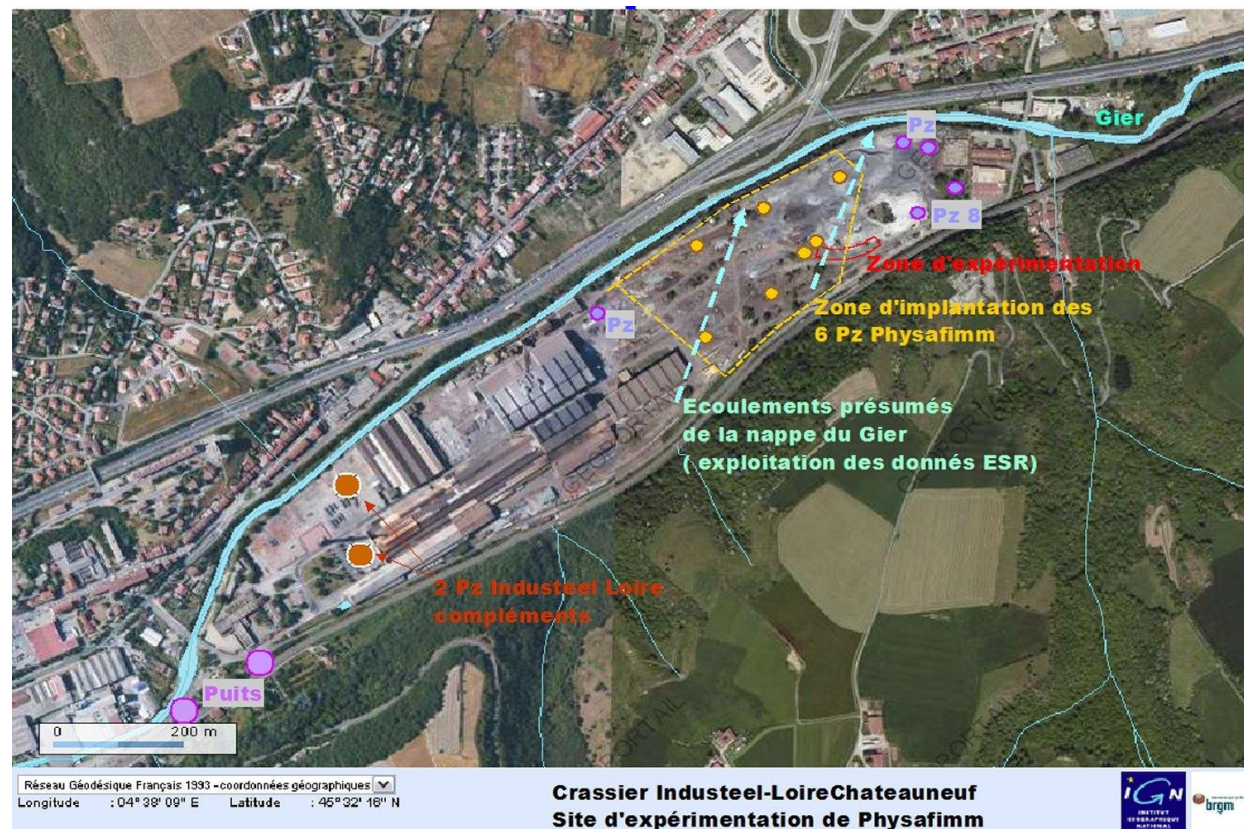
- **Objet** : un patrimoine territorial stéphanois, marqué par son histoire industrielle, porteur de sites-ateliers emblématiques de la complexité de leur réaffectation.
- **Méthode** : une approche multidisciplinaire sur et autour de ces sites, associant sciences exactes, économiques et humaines, pour **écouter** les acteurs, susciter et **accompagner** des projets de recherche, **organiser l'information acquise** via PILoT-Data, la base de données du GIS
- **Finalité** : proposer des stratégies de redéploiement à l'échelle du territoire et de la complexité des problèmes posés, valoriser et intégrer la recherche environnementale dans la politique du Développement Durable et de la Ville Durable



## Des sites-ateliers identifiés par le réseau SAFIR

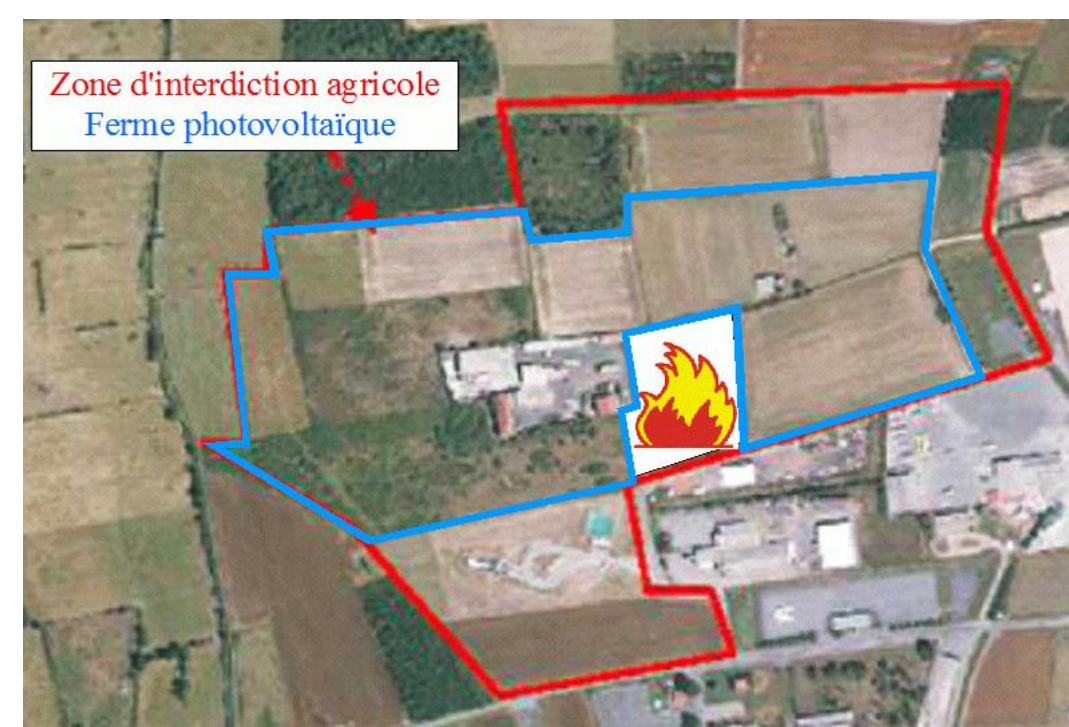
### Le crassier de Châteauneuf (depuis 2009)

- **Propriétaire** : Industeel-France, groupe ArcelorMittal,
- **contaminants** : métaux en contexte de pH très élevé,
- **Projets en géosciences et environnement** :
  - PHYSAFIMM : Phytostabilisation des friches industrielles métallurgiques et minières (ADEME et Thèse inter-établissements)
  - NAGIS & bioNAGIS : Nappe Alluviale du Gier, Isotopes Stables et microbiologie : (Saint-Etienne Métropole, SEM)
- **Projets en sciences humaines et sociales** :
  - Réflexions sur le Leg Industriel,
  - EMIR (Elision Mais Inexorabilité du Risque)



### La ferme de Saint-Cyprien (depuis 2011)

- **Propriétaire** : LUXEL, ferme photovoltaïque sur le site de Vitale RECYCLAGE
- **contaminants** : PCB, dioxines-furanes dispersés par incendie, Vitale 2008
- **Projets en géosciences et environnement et sciences humaines** :
  - ANAPoP : l'Atténuation Naturelle de la Pollution des sols aux PCBs (SEM)
- **Projets en BioIndication** (ADEME GESIPOL 2013) :
  - TROPHé, Transferts et Risques des Organiques Persistants pour l'Homme et les écosystèmes (INERIS)
  - TROPE, Transferts et Risques des Organiques Persistants pour les Escargots (UCB)
  - APPOLINE, APplicabilité à l'étude des sites POLLués du biomarqueur Lipidique des végétaux et du bio-indicateur Nematofaune (Adera, ARMINE, ELISOL environnement, CSD Ingénieurs)



Vers de nouveaux démonstrateurs ? Halle Couzon ? Terril houiller en fer

## Le Consortium

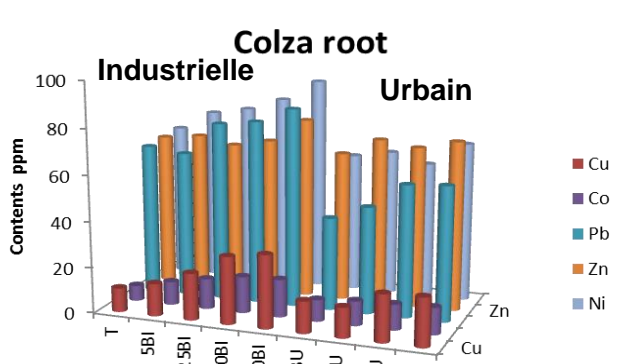
7 équipes, 5 unités mixtes et 4 établissements impliqués et 7 invités permanents

- **7 équipes** : UJM, présidence : LMV, **UMR 6524** - Centre Max Weber, **UMR 5283** - GIMAP, **EA3064** - SFR TEMIS, **EVS-UMR 5600** ; **EMSE**, vice présidence : SPIN/GSE et Institut Fayol/PIESO, **EVS CNRS UMR5600** ; **ENISE** : LTDS **UMR 5513** ; **ENSASE** : Transformations, **GRF**, ministère de la culture
- **7 invités** : Ville de **Saint Etienne** ; Saint Etienne Métropole (**SEM**) ; Conseil Général de la Loire (**CG42**) ; Conseil Régional de la **Région Rhône Alpes** ; Etablissement Public Foncier de l'Ouest Rhône-Alpes (**EPORA**) ; Etablissement Public d'Aménagement de Saint Etienne (**EPASE**) ; Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (**DREAL**)

## Auteurs

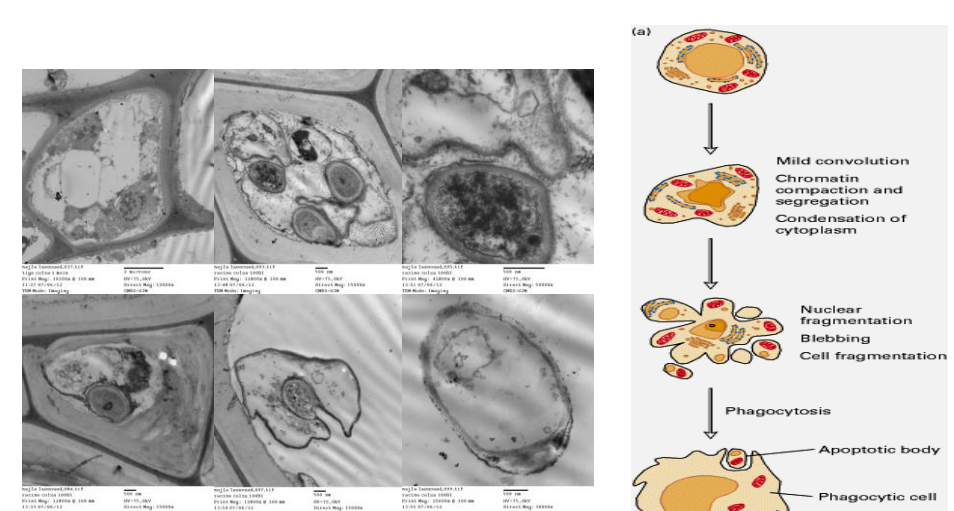
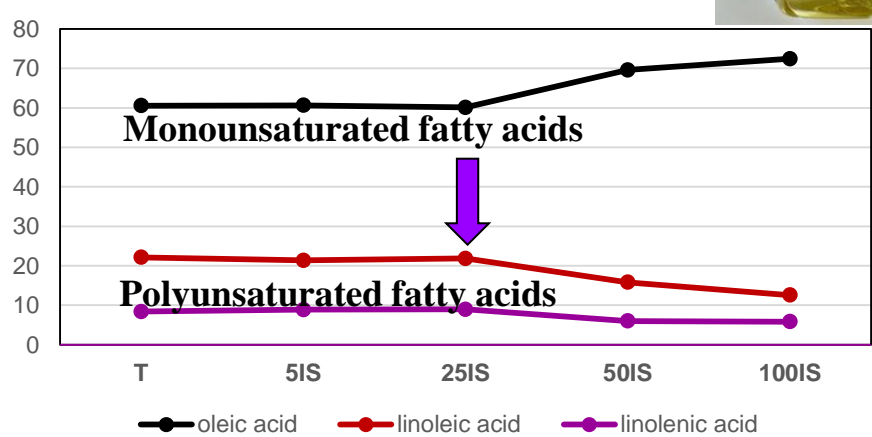
Essaid **BILAL**, Jacques MOUTTE, Fernando PEREIRA, Didier GRAILLOT, Marc DOUMAS, Frédéric GALLICE, Florence DUJARDIN, Olivier FAURE, Jean Luc Bouchardon, Frédéric PARAN, Djamel MIMOUNE, Daniel GARCIA.

## Partenaires



Incidence des boues d'épandage des stations d'épuration industrielles et urbaines sur le Colza

Composition of fatty acids % Industrial Sludge



Impact des métaux lourds des boues d'épandage des stations d'épuration urbain et industrielle sur les cellules de colza, on observe un tassement et une marginalisation de la chromatine nucléaire; une convulsion de la membrane nucléaire et cytoplasmique, la condensation de cytoplasme (autophagie). Incidence sur la qualité de l'huile de colza (augmentation des acides gras mono-saturés et diminution des acides gras poly-saturés) à partir de 25t/h.

Cette thématique a pour vocation de répondre efficacement aux besoins de ses clients (industriels) et/ou partenaires (instituts académiques nationaux et/ou internationaux) et notamment de solutionner avec eux tout problème ou défi lié au traitement et à la valorisation des matières solides (**minerais, minéraux industriels, sols, boues, sédiment, terres excavées, sous-produits et déchets**). Elle vise à proposer des solutions durables intégrées, économiquement rationnelles, répondant à l'ensemble de la problématique posée par ces matières depuis leur prise en charge sur site jusqu'à leur évacuation et valorisation en voie "matériaux" (fournitures de ressources minérales pérennes) ou autre. Cette thématique contribue ainsi au développement d'une économie circulaire dans une logique de développement durable des territoriale de diverses filières impliquées dans la circulation et le recyclage de ces matières.

**La stratégie est orientée sur les géo-ressources pour l'environnement et le redéploiement industriel.**



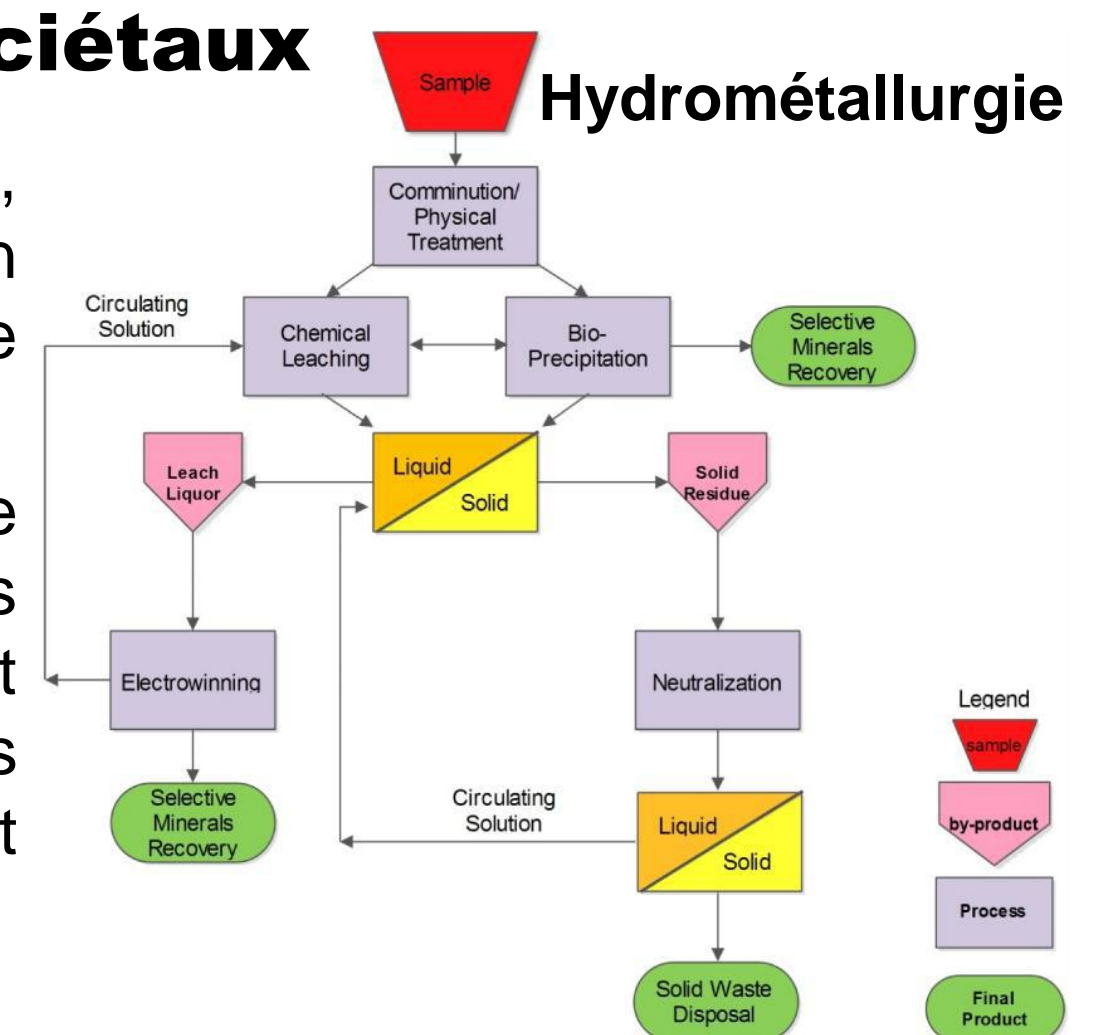
Friches industrielles et les déchets miniers et industriels autour de Saint-Etienne

- Développement d'un procédé de rupture pour récupérer les oxydes métalliques résiduels dans la matrice minérale issue du traitement des laitiers (INOX) ; développement de nouvelles applications à valeur ajoutée pour la matrice minérale et construction d'une usine de traitement de laitiers par HARSCO Metals & Minerals dans la région Rhône-Alpes.
- L'innovation consiste à mettre en œuvre des opérations unitaires sélectives bien calées sur la nature chimique et minéralurgique de ces métaux non ferreux. Il ne s'agit en aucun cas d'une stabilisation/confinement de ces métaux qui seraient certes inoffensif en terme d'impact environnemental mais qui seraient perdus comme ressource réutilisable.
- Nous apportons une réponse adaptée et dimensionnée à la problématique de la gestion, du traitement et de la valorisation terrestre des sédiments de dragage fluviaux et/ou portuaires à l'échelle de la région Rhône-Alpes et ou à l'échelle nationale (dragage représentent environ chaque année 50 millions de m<sup>3</sup> pour les ports et 6 millions de m<sup>3</sup> pour le réseau fluvial).



## Afin de répondre aux grands défis économiques et sociétaux

- nous nous appuyons à la fois sur nos compétences (en géochimie, chimie, hydrogéologie, minéralurgie et hydrométallurgie) et notre expertise en technologies de traitement et filières de valorisation pour la conception de solutions respectueuses de l'environnement.
- Nous assurons la mise au point de prototypes expérimentaux à l'échelle de laboratoire ; de protocoles et d'outils de validation des technologies environnementales ; la réalisation d'essais de valorisation ; le développement de procédés de décontamination à l'échelle laboratoire ; le contrôle des impacts environnementaux et des niveaux d'exposition potentiellement toxiques.



## Plusieurs programmes de recherche en cours :

- Procédé minéralurgie et hydrométallurgie de séparation de Mo, Ti, Zr et As du minerais U, Goivex Niger SA;
- Tools for the Integrated recovery of critical raw MatERialS from mining and industry wastes (TIMELY) programme ERA-MIN;
- Projet TARANIS programme FUI (pôle de compétitivité AXELERA, Harsco Minerals France Group et des PME rhônalpines (Groupe Boisset, EpurNature, Groupe Dauphinoise Coopérative Agricole).Création à terme de 33 emplois dans le bassin stéphanois.
- Valorisation des boues de stations d'épuration industrielles et urbaines dans l'agriculture et détermination de seuil critique (Tunisie) ;
- Méthodologie de caractérisation des produits émergents perturbateurs endocriniens dans les boues de stations d'épuration.



### **3. RESSOURCES EN EAU ET EN AIR**



## Auteurs

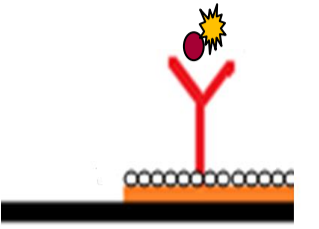
Scherrine Tria  
Aziza Ibn Hadj  
Hassine  
Catherine Gonzalez  
Ingrid Bazin

## Contexte et Problématique

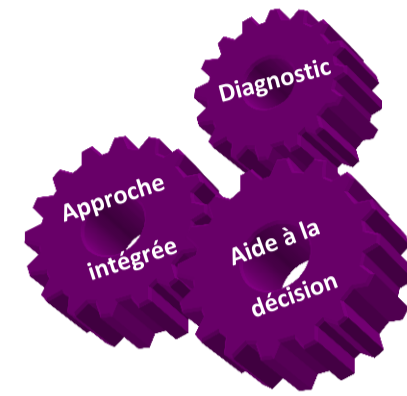
Développement de bio détecteurs simples et transposables sur site

- Fort besoin en méthodes de contrôle fiables et bon marchés sur site permettant une meilleure gestion des flux environnementaux.
- Compléter les méthodes de mesures physico-chimiques.
- Information sur la présence d'un polluant (pesticides, toxines, colorants etc...) ou de l'effet des polluants sur un système biologique.

Polluants Prioritaires/ cibles



Approche globale par la biotoxicité



## Partenaires

Tissus de recherche



Des collaborations clés



Tissus industriel, acteurs économiques



Futurs acteurs économiques



## Études et développement en cours

- Mise au point des différents types de bio-récepteurs (anticorps, enzyme, cellules bactérienne ou de levure) pour les intégrer dans des bio-essais fonctionnels pour la bio détection des polluants ou de leurs effets.
- Développement d'aptamers peptidiques pour la détection des haptens (petites molécules non immunogènes tel que glyphosate, AMPA, ochratoxine A).

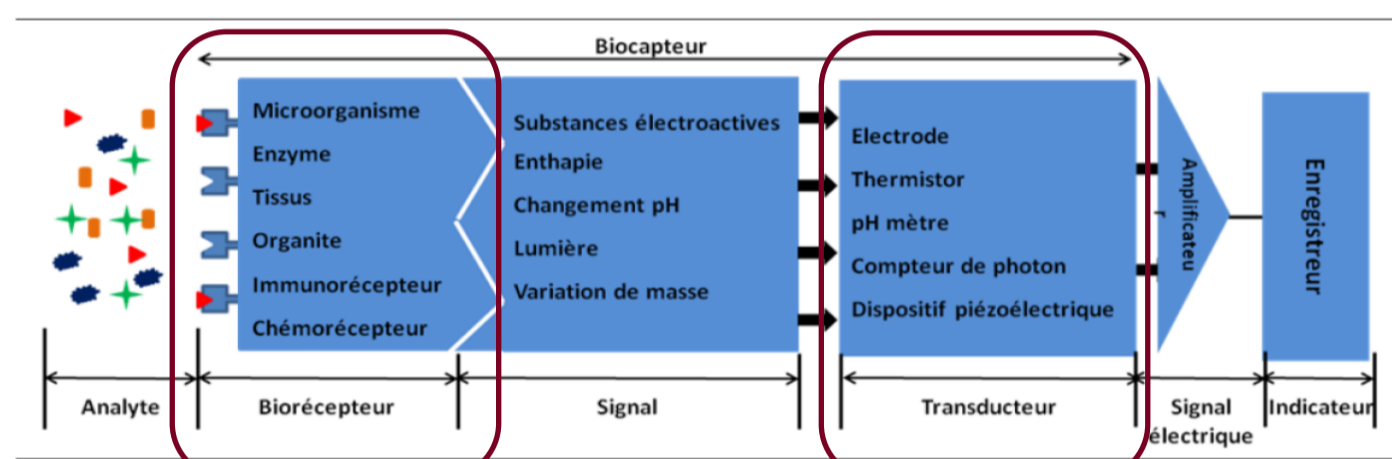
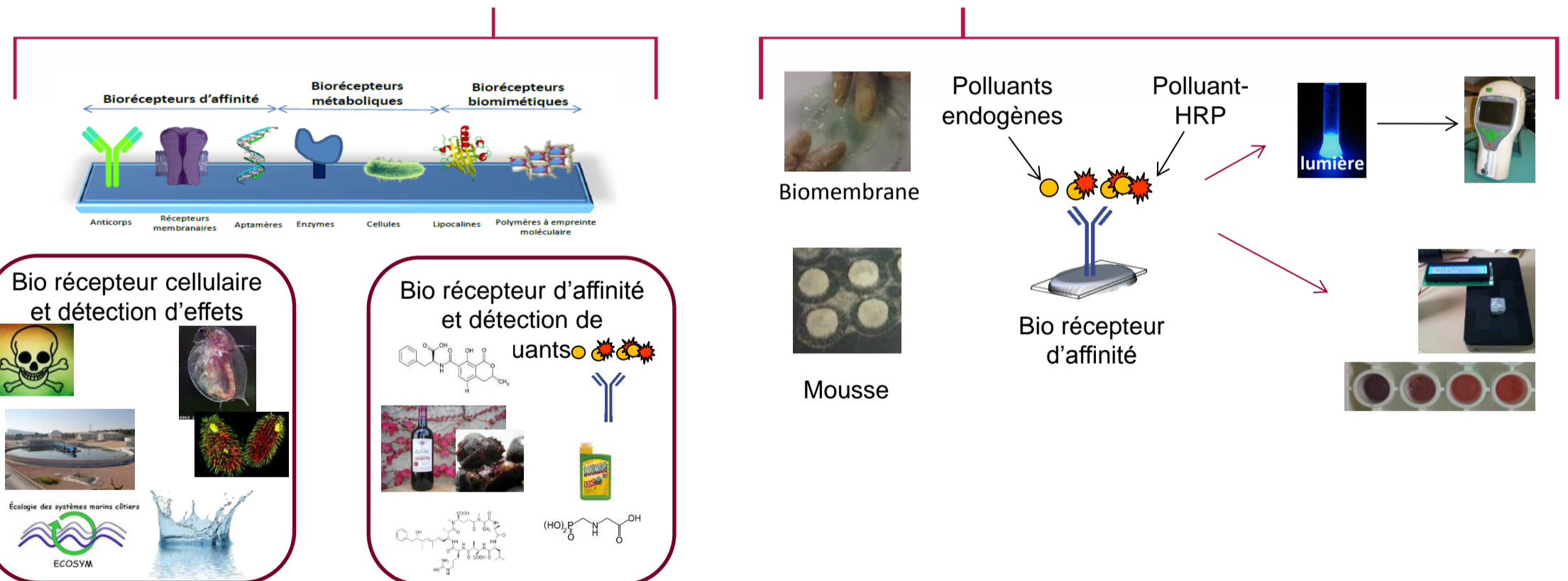


Schéma du principe de fonctionnement d'un biocapteur d'après Minh, 1991

Reconnaît sélectivement une molécule cible

Permet de détecter et de quantifier les molécules recherchées

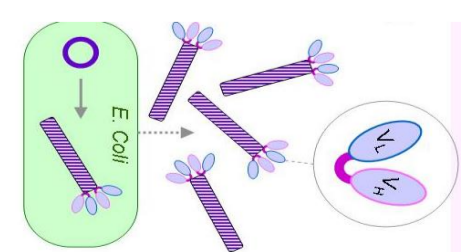


## Résultats obtenus et perspectives



- Obtention d'un peptide affine pour l'ochratoxine A et développement d'un bio-essai fonctionnel de terrain, rapide et qui permet de détecter le polluant dans des concentration inférieur au  $\mu\text{g/L}$ , (Bazin *et al.*, 2013).
- Accroissement de l'efficacité de détection et du seuil de sensibilité par concentration des bio récepteurs (Soleri *et al.*, 2014).

- Impact des composés industriels et d'effluents urbains et industriels sur l'environnement (Bazin *et al.*, 2012, 2013, Kessabi *et al.* 2012, Hadj Hassine *et al.* 2012).
- Développement de récepteurs affines pour des cibles spécifiques (pathogènes, virus, polluants émergents, toxiques) et de biocapteurs pouvant avertir sur le niveau de toxicité (oestrogenicité, mutagénicité). Ils peuvent se présenter soit sous forme de bioessais simples (test strip) soit sous forme de biocapteurs.



Phage display

## Auteurs

Benoît GRAILLOT  
Christine BLACHERE-LOPEZ  
Miguel LOPEZ-FERBER

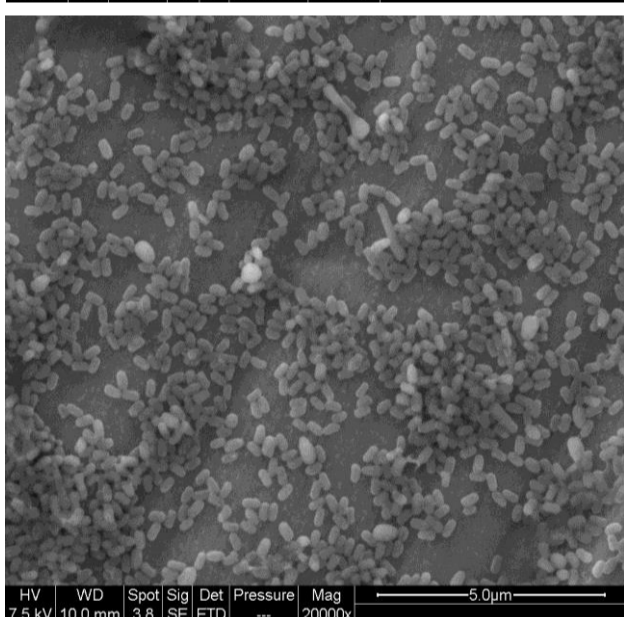
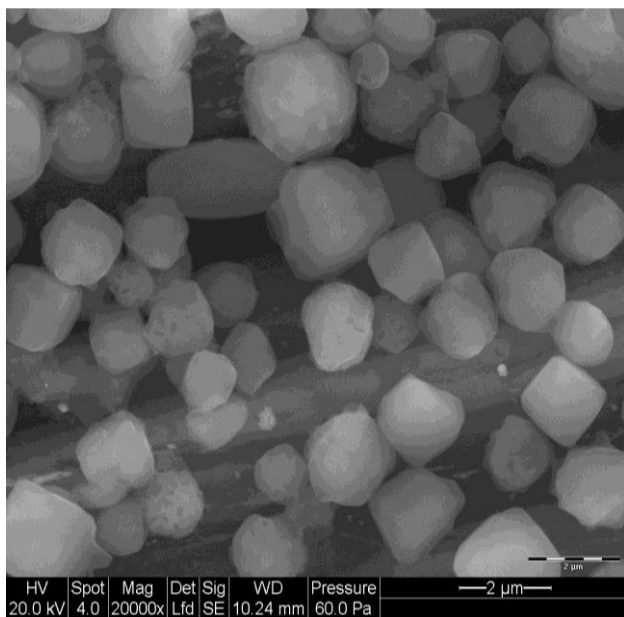
## La protection des cultures, cause de pollution diffuse

- Sans protection des cultures, les récoltes seraient lourdement compromises, et la survie de notre agriculture difficile à assurer.
- La protection des vergers de pommes demande jusqu'à 25 traitements annuels pour éviter les attaques d'insectes ravageurs.
- L'arrivée d'un nouveau ravageur peut détruire complètement la production.
- Les insecticides chimiques se retrouvent dans les sols, puis dans l'eau, où ils ont des effets nocifs.



Dégâts produits par les larves de *T. solanivora* : formation de galeries et pourrissement à cause de l'infection secondaire par des micro-organismes.  
Photos : C. Espinel ; P. Cuartas.

## Partenaires



Les deux structures de résistance des baculovirus: le polyèdre et le granule.  
Photos M. Lopez-Ferber et J.M. Taulemesse

## L'utilisation de pathogènes des ravageurs comme alternative

- Éliminer les ravageurs en les rendent malades.
- Mais en n'affectant pas le reste de l'écosystème (plantes, animaux, micro-organismes)

## Les baculovirus, insecticides biologiques de choix

- Famille de virus inféodée aux arthropodes. Sans pathogénicité pour les plantes ni les animaux.
- Chaque espèce de virus se réplique sur une ou quelques espèces d'insecte proches.
- Les baculovirus survivent dans l'environnement.
- Mais des améliorations possibles :
  - Meilleure efficacité sur un (nouvel) hôte
  - Contrôle du développement de résistances

## Sélectionner des baculovirus pour une meilleure efficacité

### Variabilité naturelle

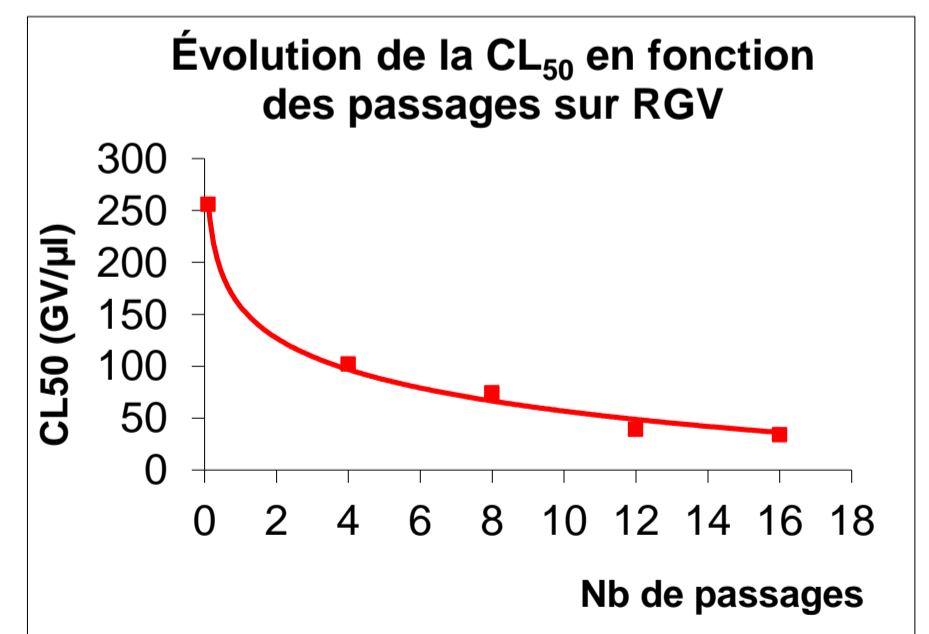
- Prospection et collecte de nouveaux isolats viraux.
- Caractérisation de leur potentiel.

### Adaptation dans le laboratoire

- Amélioration de performances envers un hôte.
- Adaptation à un nouvel hôte proche (pas toujours possible).

## Maintenir l'efficacité au cours du temps

- Contrôle de l'apparition de résistances chez l'hôte.
- Maintien de la diversité génétique.



Diminution de la dose nécessaire pour contrôler un insecte au cours des générations de sélection d'un baculovirus.  
Données M. Berlinget C. Blachère-Lopez

## Auteurs

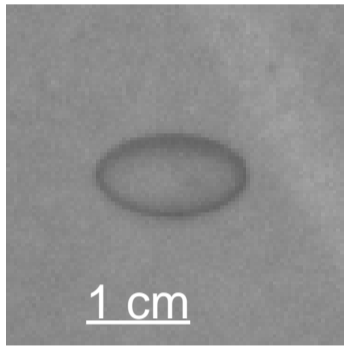
Laurent Aprin  
Pierre-Alain Ayral  
Frédéric Heymes  
Pierre Laurent  
Pierre Slangen

## Mots clés

Explosion, Incendie  
Dispersion de produits  
Inondation, Feux de forêts  
Instrumentation distribuée  
Modélisation

Ex : Pollution marine

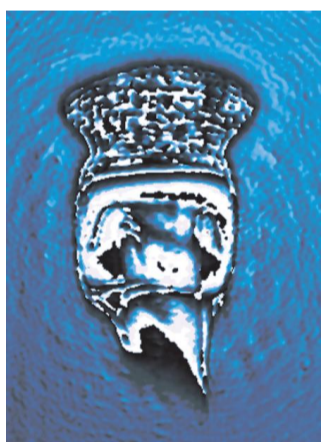
Imagerie rapide  
goutte de n-butanol  
 $n_{n-but} = 1,399$



## Éclairage arrière



## Ombroscopie directe



Variation  $n_{réfraction}$   
en temps résolu

Résultats futurs



Colonne d'eau  
4 m-haut CEDRE

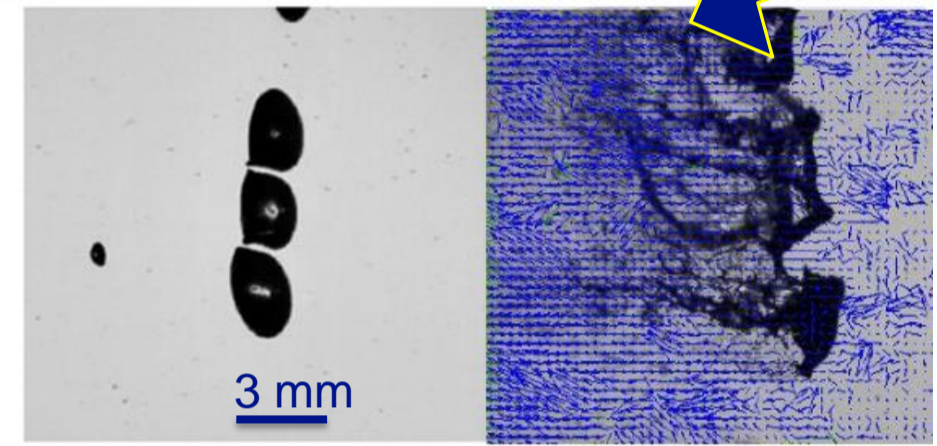
## Phénomènes liés aux risques industriels et naturels

- ✓ Compréhension et formalisation des phénomènes
- ✓ Élaboration de pilotes pour analyse à petite échelle
- ✓ Développement des moyens expérimentaux de mesure
- ✓ Réalisation d'expériences en grande échelle et instrumentation distribuée
- ✓ Collection de données et analyse complexe (grille, corrélation...)
- ✓ Injection et comparaison dans codes de calculs et Simulation

**THRS : Mesure en haute résolution spatiale et faible résolution temporelle**  
**THRT : Mesure en haute résolution temporelle et faible résolution spatiale**



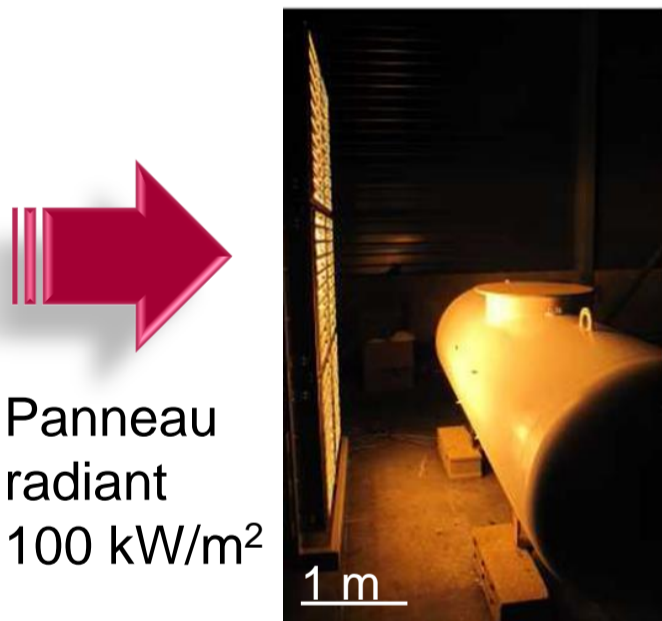
Observation hydrologique distribuée (temps, espace)  
Suivi de l'extension du réseau hydrographique



Imagerie ultra rapide en temps résolu  
Fragmentation de gouttelettes

## Expérimentations multi-échelles

- Développement de moyens expérimentaux adaptés aux phénomènes
- Cinétiques lente et rapide



Panneau  
radiant  
100 kW/m<sup>2</sup>



Mur de feu (méthane)

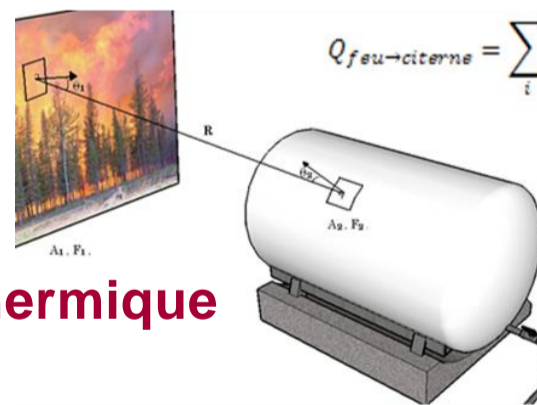


Feu de forêt

Flux reçu (kW/m<sup>2</sup>)  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

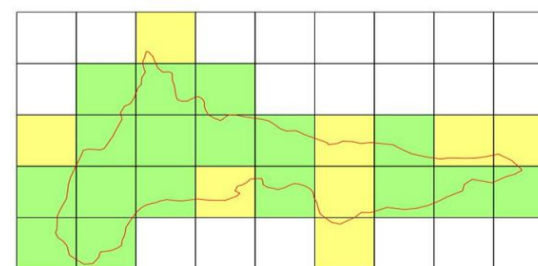
## Modélisations

- Modélisation **physique**  
Impact du rayonnement thermique sur un réservoir de GPL
- Modélisation **empirique**  
Saturation des sols en eau lors d'intempéries
- Modélisation **réseau neuronal**



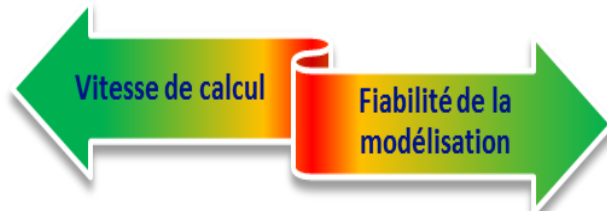
$$Q_{\text{feu-citerne}} = \sum_i \sum_j I_i \frac{\cos\theta_i \cdot \cos\theta_j}{\pi R^2} \cdot 0,79 \cdot \left(\frac{100}{R}\right)^{1/16} \cdot \left(\frac{30,5}{\text{humidite}}\right)^{1/16} \cdot A_i \cdot A_j$$

Développement de modèle analytique et modélisation CFD



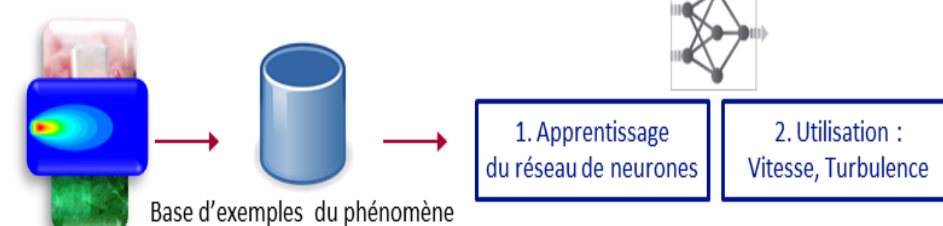
Approche expérimentale distribuée  
VS  
Analyse spatiale

### Modèles existants



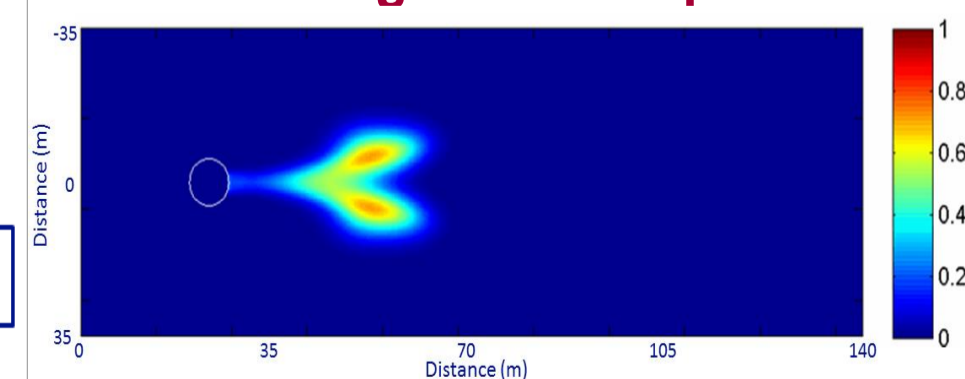
### Approche par les outils de l'intelligence artificielle

- ▶ Détermination de l'écoulement autour d'un obstacle
- ▶ Détermination de la turbulence associée



▶ Résolution de l'équation d'advection diffusion

### Modélisation de la dispersion autour d'un stockage industriel par ANN

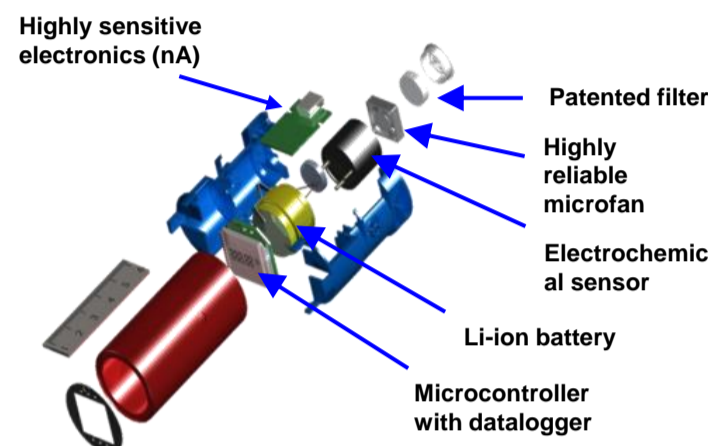


## Auteurs

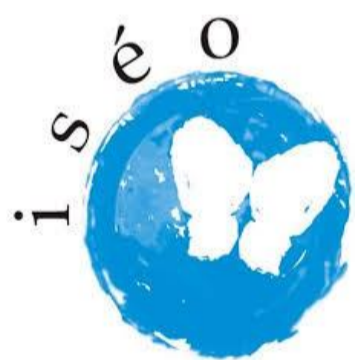
Stéphane Cariou  
Marion Fages  
Jean-Louis Fanlo

## Objectif

Concevoir un système intégré capable de détecter les composés gazeux et odorants industriels même à faible niveau de concentration et sur de larges territoires pour proposer des axes de remédiation des émissions de sites industriels, en particulier pour les sources surfaciques et .



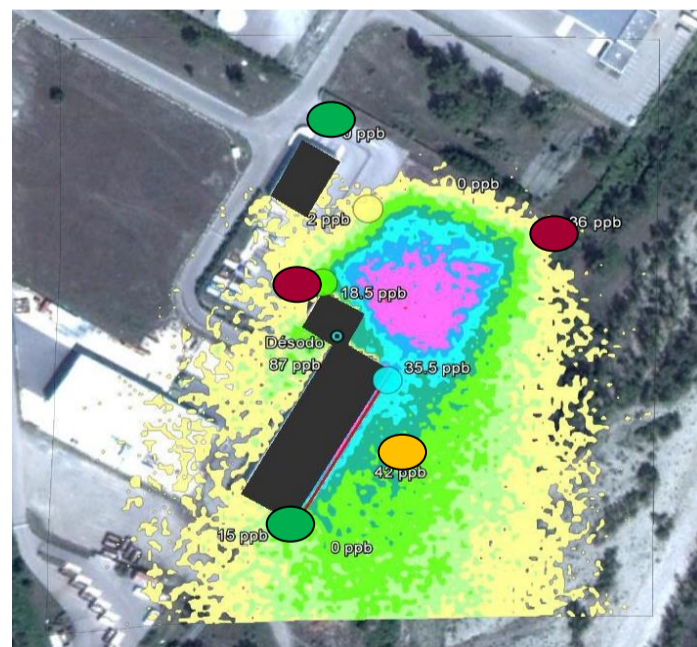
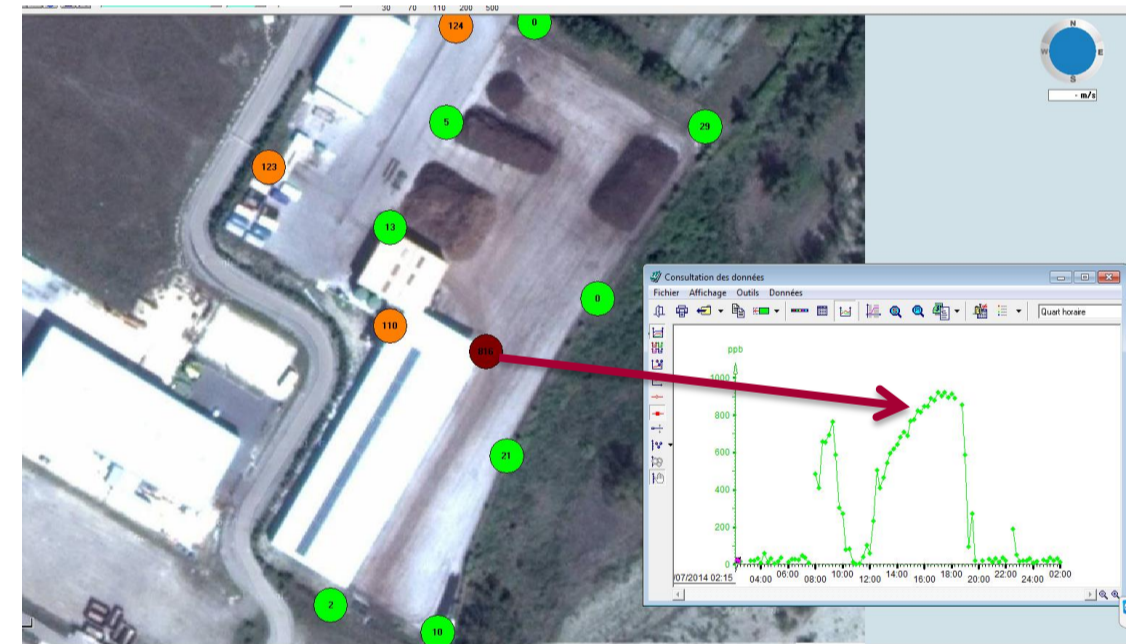
## Partenaires



## Résultats

Ce système, déployé sur un site de compostage, est basé sur :

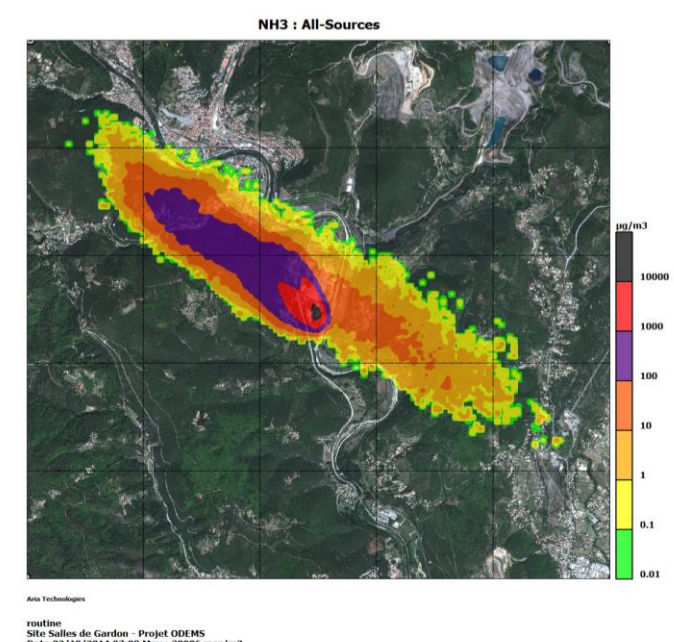
- Un réseau de capteurs communicants permettant une **surveillance en continu** des composés polluants de la zone étudiée. Les capteurs sont déployés sur le site selon un maillage tridimensionnel.



- Une modélisation inverse afin de **déterminer les sources** et les **niveaux d'émission** (sources surfaciques ou fuites). pour permettre à l'industriel de mettre en place des actions d'amélioration du process ou des actions correctives d'activité sur le site.

- Une modélisation de dispersion pour déterminer la **zone impactée par l'activité**.

- Un module de **prédiction** est également disponible. Il permet à l'exploitant de prédire **la zone impactée** par l'action qu'il envisage de mener sur son site.



## Auteurs

Luc Malhautier<sup>a</sup>  
Léa Cabrol<sup>a</sup>  
Franck Poly<sup>b</sup>  
Anne-Sophie Lepeuple<sup>c</sup>  
Jean-Louis Fanlo<sup>a</sup>

<sup>a</sup>École des mines d'Alès  
<sup>b</sup>UCBL  
<sup>c</sup>VERI

## Partenaires



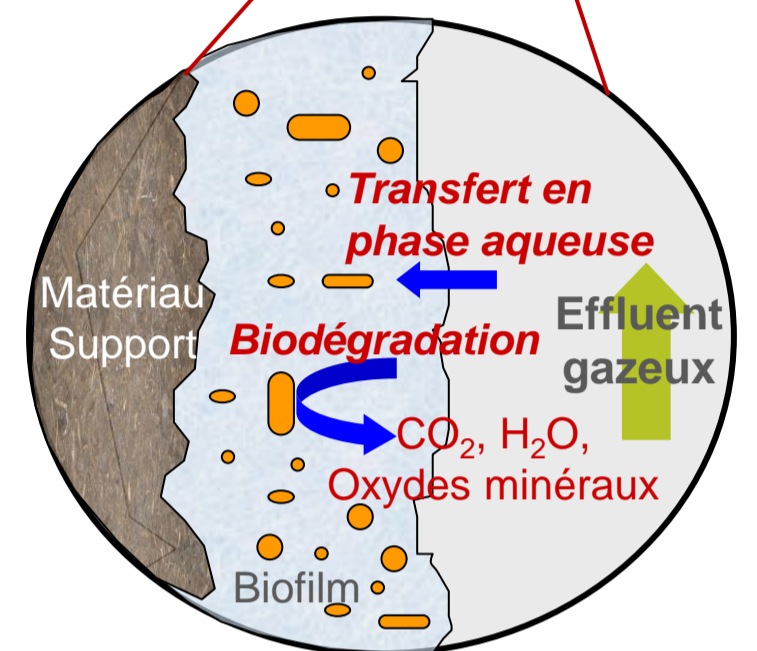
## Contexte et Objectifs

- Gestion problématique des boues d'épuration.
- Compostage : solution alternative, économique, «environment friendly».
- Nuisances odorantes : émissions de composés volatils (COVs, ammoniac).
- Biofiltration : procédé de traitement des gaz adapté aux débits élevés (>1000m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) et aux faibles concentrations (<1g.m<sup>-3</sup>), typiques du compostage.

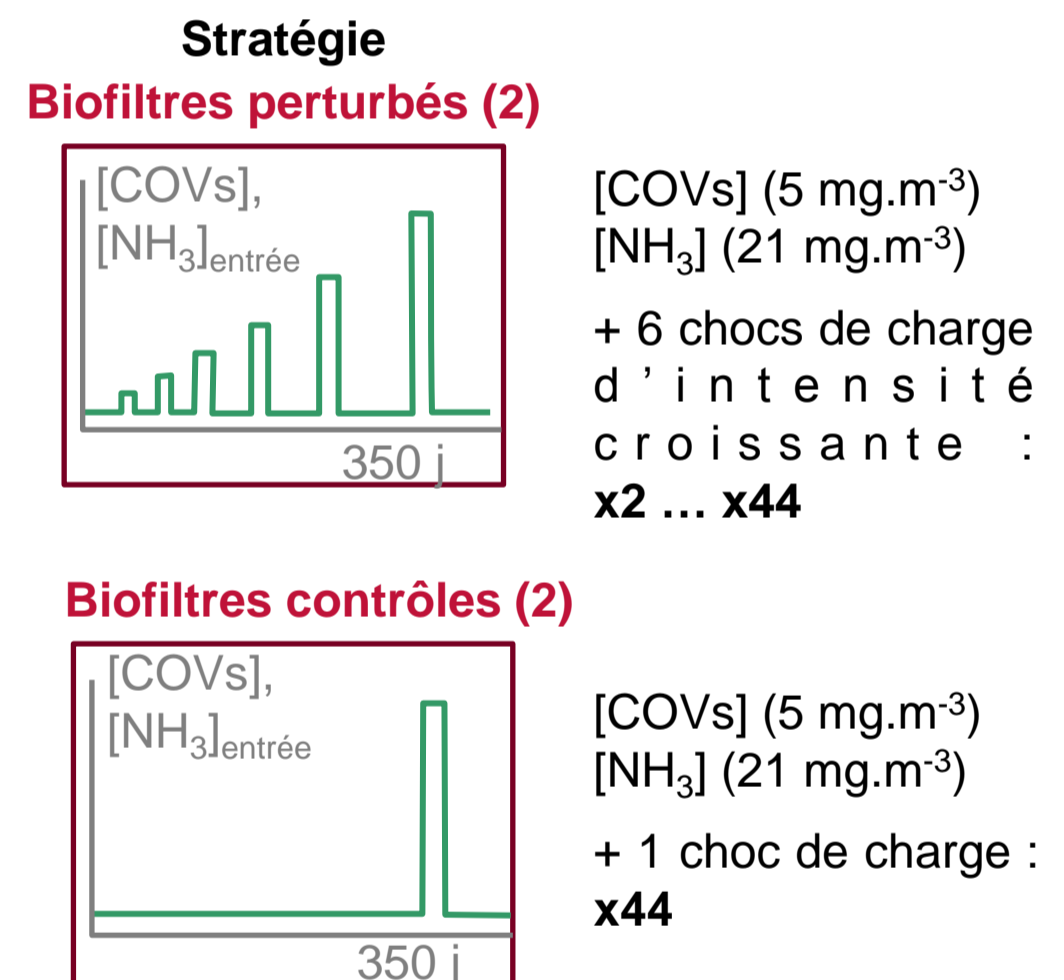
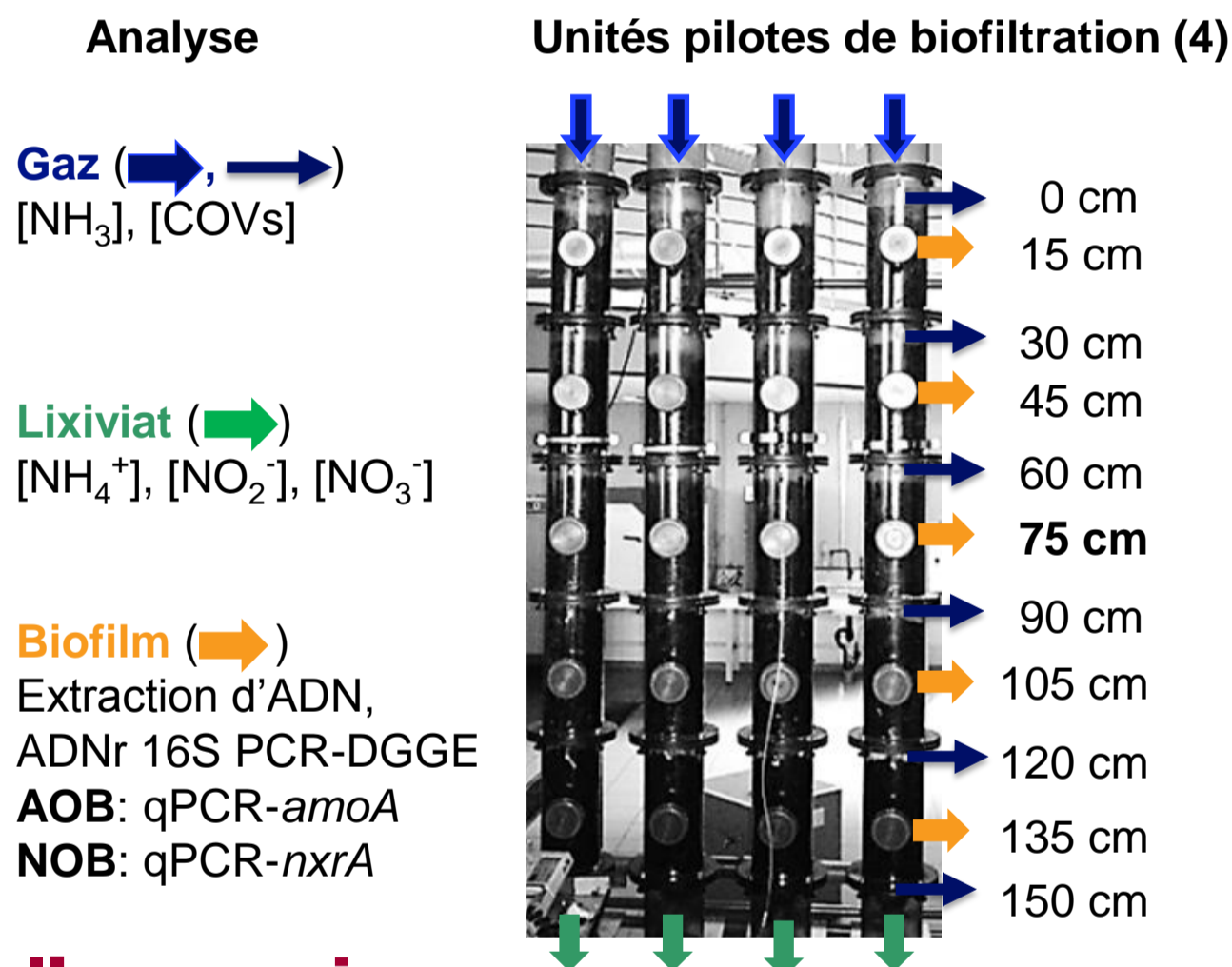


## Objectifs

- Évaluer le niveau de robustesse d'un système pilote de biofiltration : résistance, résilience, effet mémoire.
- Double approche : macroscopique (efficacité d'élimination des composés volatils) et microscopique (caractérisation des communautés microbiennes selon les concepts et outils de l'écologie microbienne).



## Stratégie expérimentale



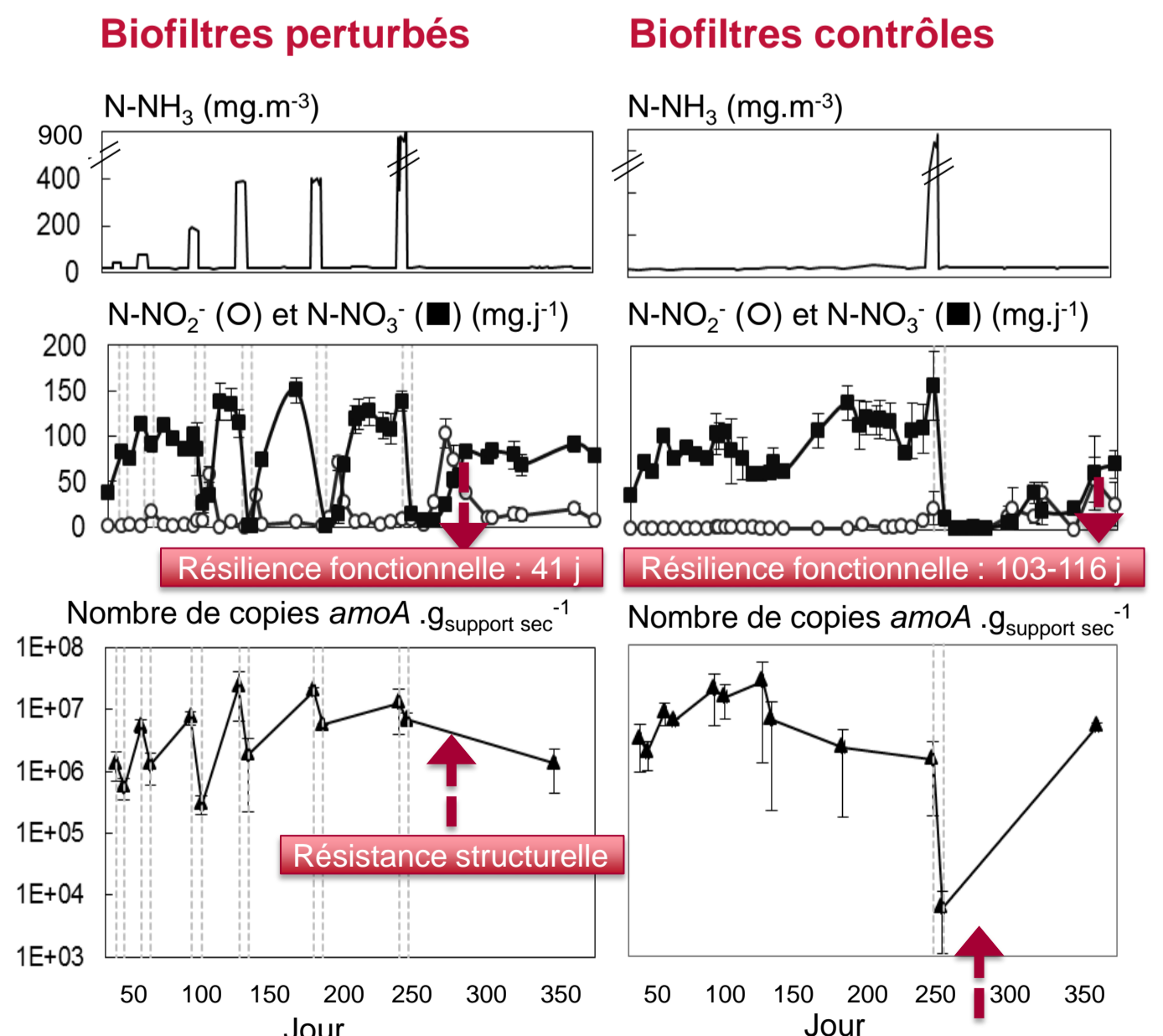
## Résultats : cas de l'ammoniac

### Biofiltres perturbés

- Inhibition transitoire de l'activité de nitrification (fonction du système). Les capacités de résistance et résilience fonctionnelle du système diminuent avec l'intensité des chocs.
- Diminution des niveaux d'abondance des populations oxydant l'ammoniac (AOB), d'autant plus importante que l'intensité du choc augmente (chocs 1-4).
- Adaptation progressive aux chocs 5-6 : stabilisation des niveaux d'abondance des AOB (résistance structurale).

### « Effet mémoire » et après ?

- « Effet mémoire du système » : amélioration de la capacité de résilience fonctionnelle (activité de nitrification) et de la résistance structurale (niveaux d'abondance des AOB) des biofiltres perturbés de façon périodique par rapport aux biofiltres contrôles.
- Objectif final : définir des stratégies de « management » des ressources microbiennes pour renforcer les services délivrés par l'écosystème.

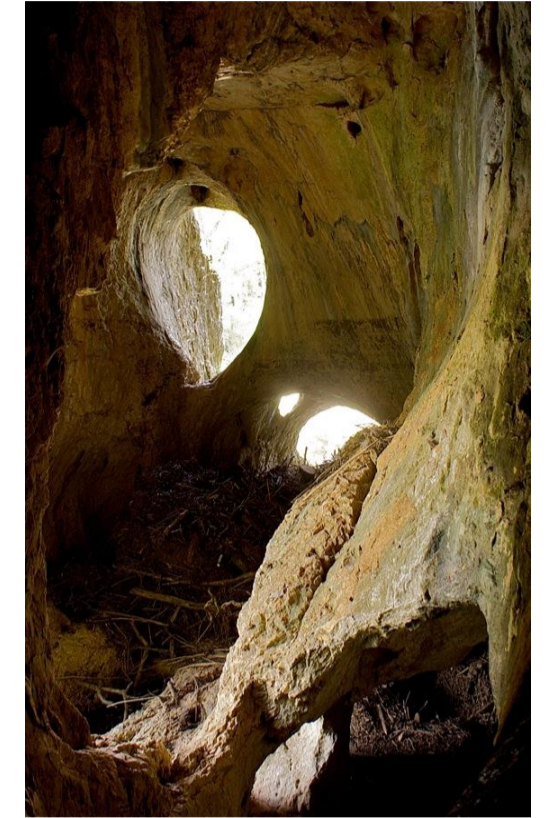




## Analyse systémique des hydrosystèmes

L'hydrosystème vu dans son ensemble et considéré de manière conceptuelle.

- Certains hydrosystèmes fracturés et hétérogènes sont par nature mal connus tant pour leurs propriétés physiques que pour les mécanismes entrant en jeu dans le transfert et le stockage de l'eau.
- Parmi ceux-ci les aquifères karstiques et les mines sont des cibles particulièrement riches en enjeux pour des territoires, par exemple autour de la Méditerranée, qui n'ont parfois que cet unique réservoir comme ressource en eau.



Grotte des Fées - photo A. Johannet

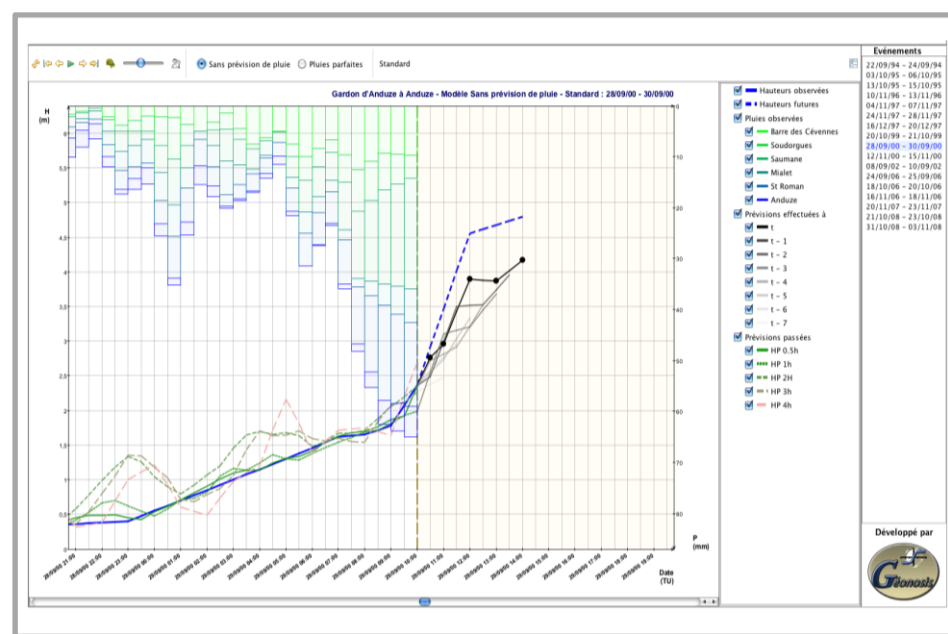
### Auteurs

Anne Johannet  
Bernard Vayssade  
David Salze  
Pierre-Alain Ayrat  
Marc Vinches

### Partenaires



HydroSciences  
Montpellier



Visuel d'un simulateur logiciel de prévision hydrologique  
<http://blog.espci.fr/flash/>

**Complémenter les méthodes hydrologiques lorsque la connaissance des processus est insuffisante**

Modélisation par réseaux de neurones



La source du Lez - photo B. Vayssade

- Modèles de prévision de débit, de hauteur d'eau.
- Prévision des transports solides (turbidité).
- Amélioration de la connaissance à partir du modèle : méthodologie KNOX.
- Estimations de proxy, par exemple marqueurs du sens de l'échange entre nappe et rivière.



Grotte des Fées - photo A. Johannet

## Méthodologies territoriales pour caractériser :

- la pression potentielle temporelle des impacts,
- les flux liés à la ressource en eau,
- les interactions avec l'industrie, en particulier l'industrie extractive.

## Pour en savoir plus :

- Line Kong A Siou. *Modélisation des crues de bassins karstiques par réseaux de neurones*. Thèse de l'Université Montpellier 2, spécialité Eaux Continentales et Sociétés. École Doctorale SIBAGHE. Soutenue le 21 octobre 2011.
- Guillaume Artigue. *Prévision des Crues Éclair par Réseaux de Neurones : Généralisation aux Bassins non Jaugés*. Thèse de l'Université Montpellier 2, spécialité Eaux Continentales et Sociétés. École Doctorale SIBAGHE. Soutenue le 3 décembre 2012.
- Audrey Bornancin-Plantier. *Conception de modèles de prévision des crues éclair par apprentissage artificiel*. Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, spécialité Informatique. École Doctorale EDITE. Soutenue le 25 février 2013.
- Stéphanie Gairoard. *Contribution à l'étude de l'impact des anciens travaux miniers de charbon sur les eaux souterraines : application à la région d'Alès (Gard)*. Thèse de l'INPL pour un doctorat en Génie civil - hydrosystèmes – géotechnique. Soutenue le 6 juillet 2009.



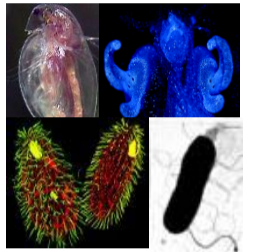
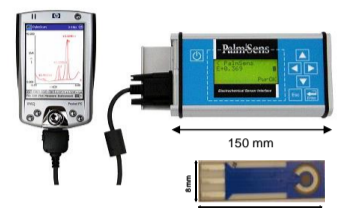
## Auteurs

Catherine Gonzalez  
Ingrid Bazin  
David Salze  
Pierre-Alain Ayrat  
Sylvain Vautier  
Christelle Urtado

## Contexte et enjeux

### Développer des outils d'aide à la décision

- Contexte de préservation des ressources en eau et maintien de la qualité.
- Besoin de développer des approches prédictives (gestion durable).
- Objectif : proposer de nouvelles solutions matérielles et logicielles de diagnostic, de gestion de l'eau adaptée pour les besoins des collectivités, des entreprises en charge de l'assainissement, de la potabilisation de l'eau.
- Méthode : mise en place d'une chaîne de décision qui intègre des capteurs (mesure et diagnostic), des technologies de la communication (réseaux de capteurs), des modules de traitement des données (modélisation, compréhension des processus de dégradation de la qualité, système d'alerte).



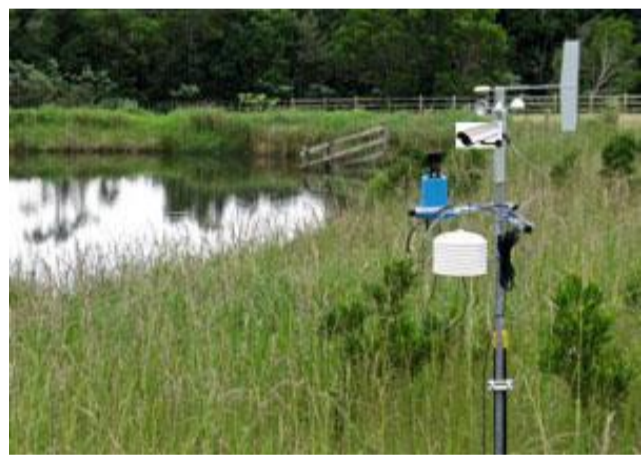
## Partenaires



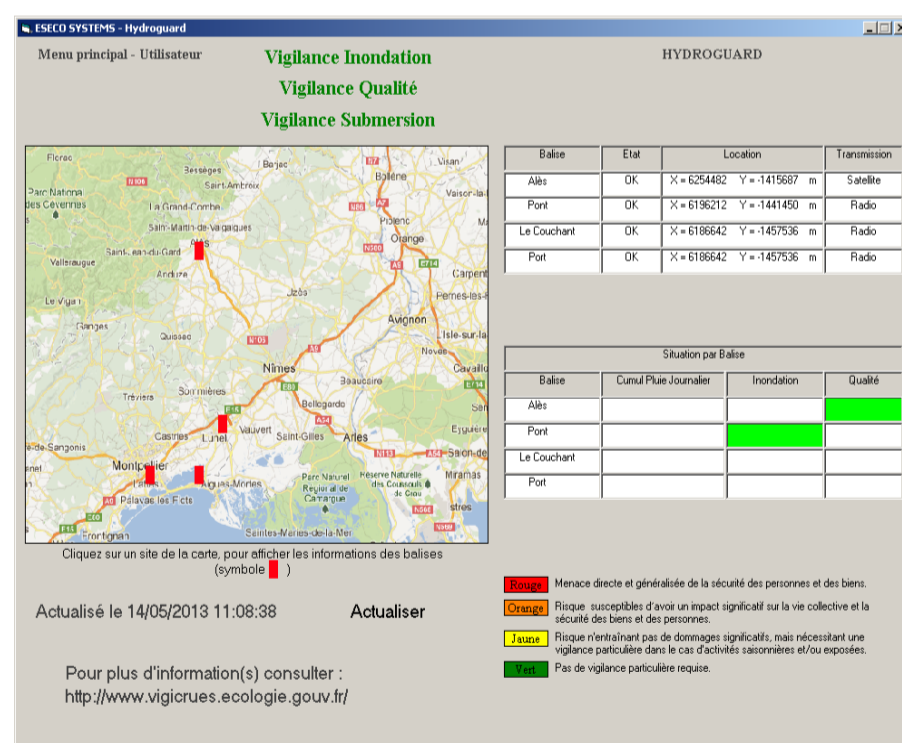
## Projet HYDROGUARD (projet FUI 2010-2013)

### Système de surveillance fiable, autonome, et automatisé

- Systèmes d'alerte, suivi et prévision des niveaux d'eau, détection des pollutions et anticipation de leur dispersion, pour la lutte contre les inondations, les pollutions accidentelles.
- Équipements autonomes (balises) mis en place sur le bassin versant (rivières, bassins d'orages, réseau d'assainissement, ouvrages hydrauliques,...)
- Réseau de balises (système multi-agents) qui communiquent entre elles, mettent en cohérence et traitent de manière autonome des données issues des capteurs et transmettent les mesures.
- Centralisation des données sur ordinateur centralisé pour analyse et prévision.

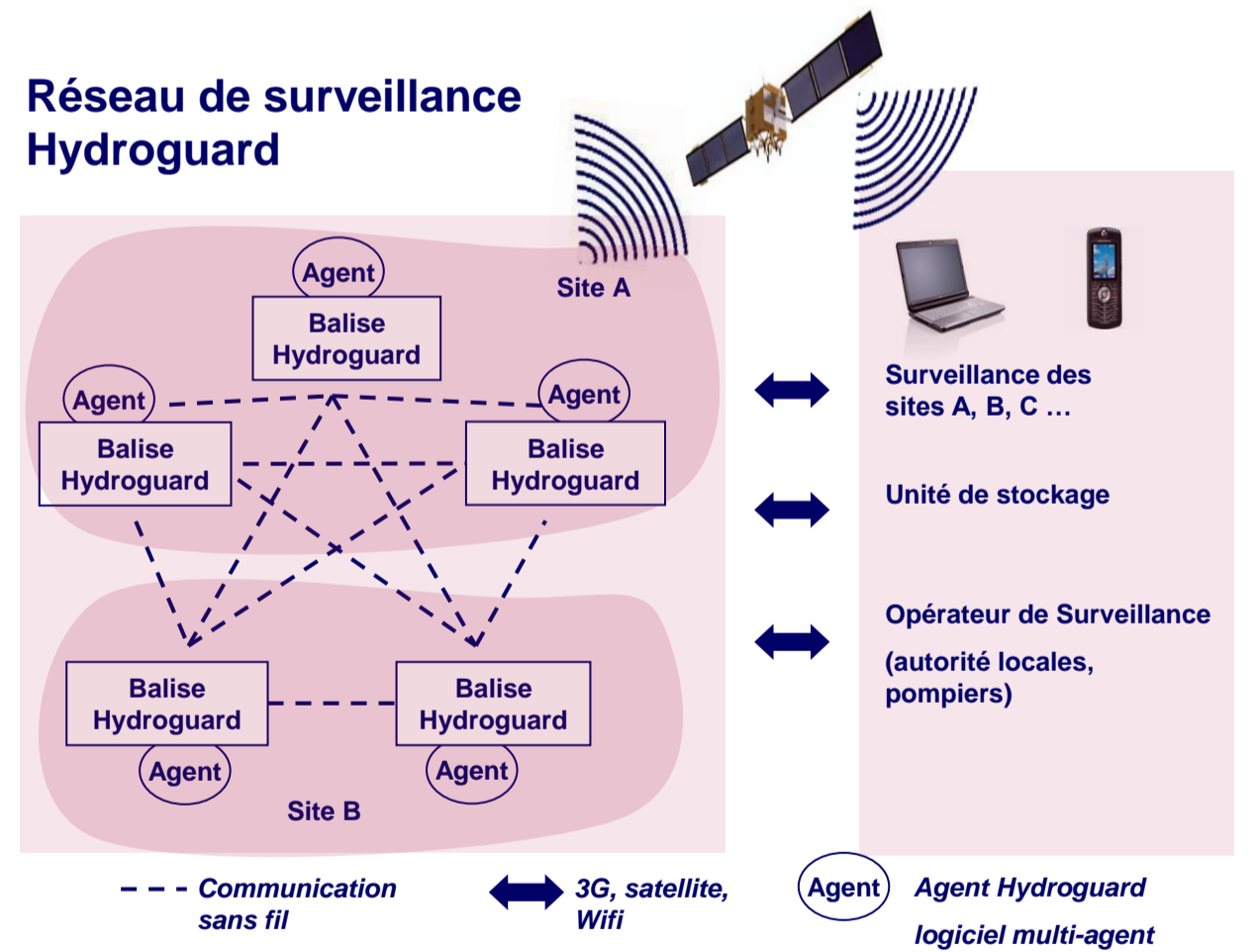


Balises HYDROGUARD



Plateforme d'information et de surveillance

### Réseau de surveillance Hydroguard



## Challenges et opportunités industrielles

### Développer l'interdisciplinarité et des filières plus transversales

- Développer des capteurs, systèmes de mesure, possédant des propriétés/caractéristiques « génériques ».
- Valoriser les compétences pluridisciplinaires (micro-électronique, électrochimie, chimie analytique, biologie/biochimie...)
- Favoriser l'interdisciplinarité TIC et environnement pour proposer un diagnostic précoce, le calcul d'indice global de qualité de l'eau (dégradation de la qualité et de la toxicité potentielle).
- Cibler les partenariats industriels sur l'instrumentation (capteurs, systèmes embarqués), sur les leaders dans le domaine de la gestion de données (Big Data ou volumes massifs de données).
- Promouvoir les « chantiers de démonstration » pour valider en conditions réelles ces nouveaux outils/services.



## Auteurs

David Salze  
Anne Johannet  
Pierre-Alain Ayrat  
Catherine Gonzalez  
Sophie Sauvagnargues

## Réseaux et projets



ZABR



## Ressource en eau : disponibilité et prélèvements

De la compréhension d'un système dynamique à la gestion de la ressource

■ **Modélisation et prévision des niveaux de nappes et des débits d'étiage.**

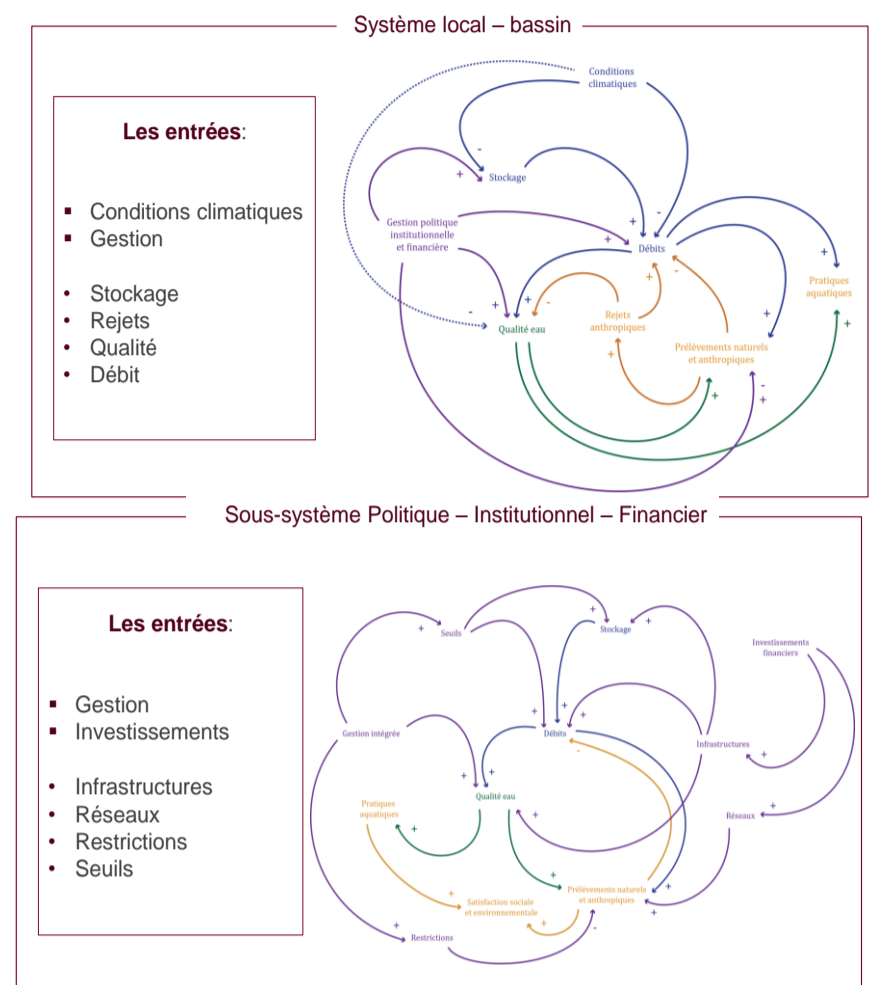
■ **Développement d'une méthodologie territoriale de caractérisation de la pression potentielle temporelle des impacts et de gestion des flux.**

■ **Développement et utilisation de méthodes d'analyse et d'évaluation des impacts.**

■ **Modélisation de la vulnérabilité des différents récepteurs exposés (anthropiques, environnementaux).**

→ **Des réponses :**

- méthodologies,
- outils cartographiques d'évaluation de la ressource sur un territoire en fonction des usages.



## L'eutrophisation des cours d'eau : développement et impact

□ **Mesurer, identifier :** Recueil de données physico-chimiques - Recueil de données de flux (bases de données existantes) - Approche territoriale et temporelle - Données relatives aux acteurs territoriaux.

■ **Comprendre :** Meilleure compréhension des systèmes anthropiques - Évaluation environnementale de territoires.

■ **Adapter sa stratégie :** Couplage intelligence territoriale et méthodologie d'atténuation des impacts - Élaboration de procédure intelligente de gestion.

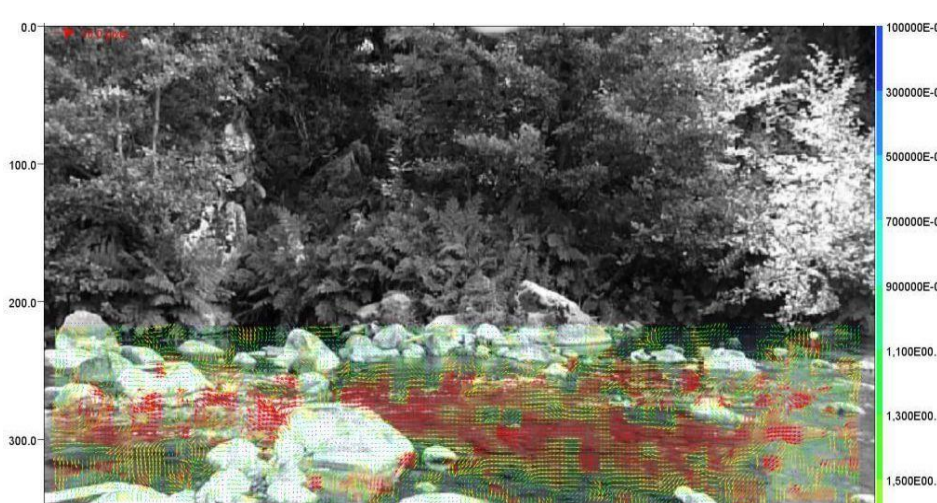


## Connaissance des débits d'étiage

■ **Courbe de tarage hauteur/débit par station pour une connaissance statistique des étiages du cours d'eau.**

■ **Développement d'une méthodologie dédiée pour établir des courbes de tarage plus robustes.**

■ **Optimisation de l'instrumentation et hydrométrie distribuée (caractérisation de tronçons de cours d'eau).**





## Auteurs

Guillaume Junqua (Maître-Assistant)  
 Miguel Lopez-Ferber (Professeur)  
 Nicolas Mat (Doctorant)  
 Jérôme Tixier (Maître-Assistant)  
 Abdelhak Imoussaten (Maître de Conférence IMT)  
 Jacky Montmain (Professeur)

## Réseaux et projets



Ademe DEPART  
 Ademe REX  
 Carnot M.I.N.E.S. AIDG-EI  
 Carnot M.I.N.E.S. PROTEE  
 Projet Ademe/Etat/Région EIT MAMP

	PORT AREA	PORT CITY AND REGION	PORT NETWORK
<b>OPERATIONAL PLANNING</b> Short-term reaction to a declared urgent situation	1 - Plot	4 - Watershed	7 - Outlet
<b>TECHNICAL PLANNING</b> Middle-term strategy of precaution in response	2 - Complex	5 - Port-city interface	8 - Network
<b>STRATEGIC PLANNING</b> Long-term ambitions in order to provoke needed changes	3 - Ecosite	6 - Eco-region	9 - Eco-cluster



## Écologie industrielle et territoriale

D'une approche descriptive à une approche prescriptive

- Basée sur une optimisation des flux de matière et d'énergie en s'inspirant des systèmes naturels.
- Approche territoriale, nécessitant de caractériser les différents systèmes biophysiques, des acteurs et de la représentation par ces acteurs du territoire.
- Différentes échelles spatiales et temporelles d'intervention.
- Comment contribuer à la construction de scénarios de développement de territoire ?

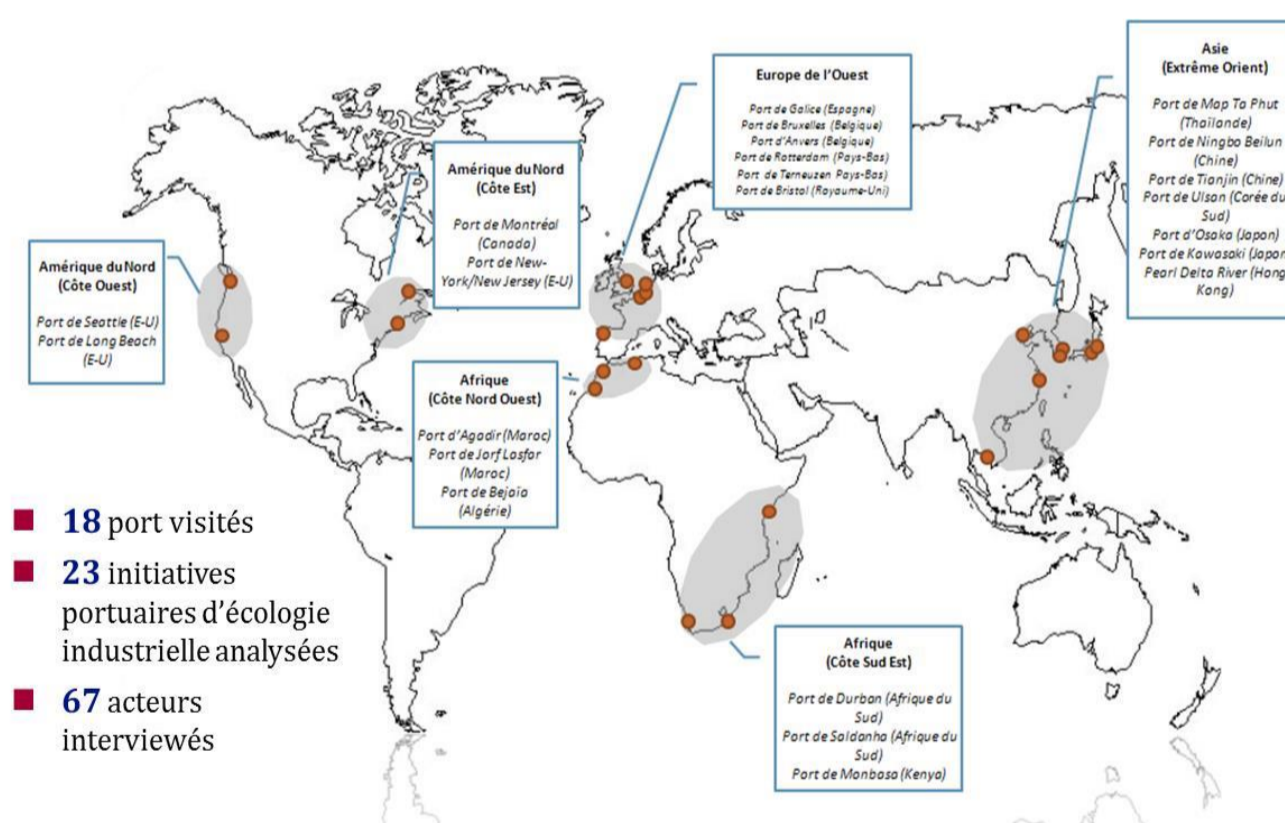
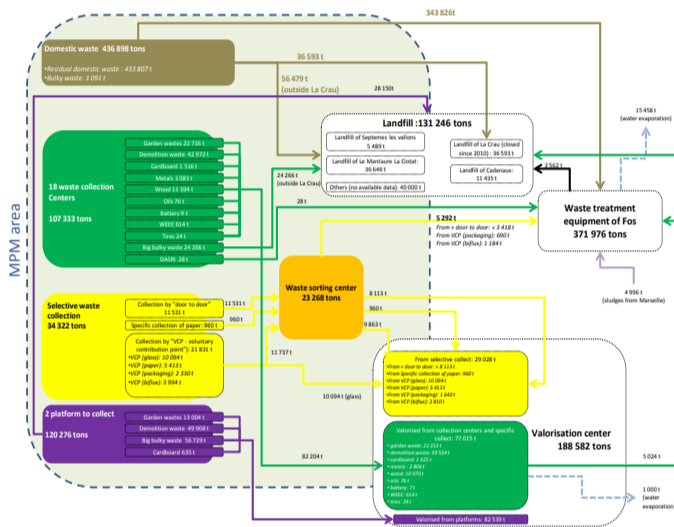
Prise en compte des différentes dynamiques temporelles et spatiales, ainsi que des différentes dimensions matérielles et idéelles du territoire.



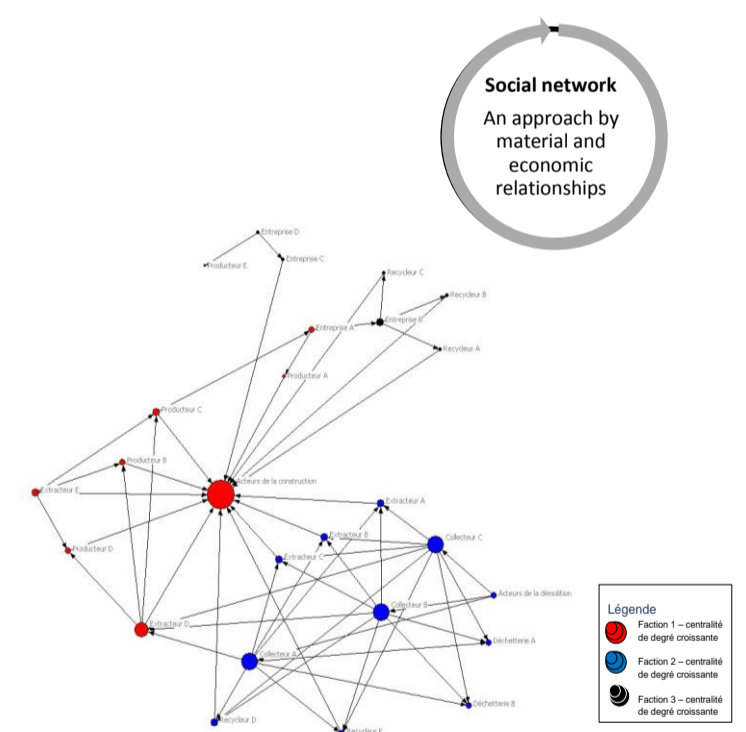
## Projets antérieurs

Développements méthodologiques

- Caractérisation d'un territoire existant et d'un projet de territoire (Projets Ademe DEPART, Carnot M.I.N.E.S. AIDG-EI).
  - Conjugaison entre approches technique et humaine.
  - Des outils de questionnement et d'Analyse au Développement durable à une aide à la décision de groupe en environnement incertain.
- Spécificité des démarches d'écologie industrielle et territoriale des territoires portuaires (Projet Ademe REX, thèse J. Cerceau).
  - Analyse comparée de cas d'études.
  - Modèles territoriaux selon des caractéristiques spatio-temporelles.
  - Application à la construction d'un projet de territoire.



■ 18 port visités  
 ■ 23 initiatives portuaires d'écologie industrielle analysées  
 ■ 67 acteurs interviewés



## En perspective...

Prise en compte des dynamiques temporelles

- Analyse comparée de la transition socio-écologique de différents territoires portuaires vers une société bas carbone (Thèse N. Mat).
  - Caractérisation de l'adaptabilité d'un territoire.
  - Décloisonnement des activités humaines entre elles et avec l'environnement.
- Influence d'un évènement ponctuel de forte intensité sur cette transition socio-écologique.
  - Caractérisation de la vulnérabilité d'un territoire (Carnot M.I.N.E.S. PROTEE).
- Contribution de l'écologie industrielle et territoriale à un processus de territorialisation (Projet État/Région PACA/Ademe EIT MAMP).



## Auteurs

A. Piroelle<sup>1</sup>  
C. Courgneau<sup>1</sup>  
D. Rusu<sup>1</sup>  
A. Cingoz<sup>2</sup>  
A.. Borcy<sup>2</sup>  
C. Henneuse<sup>2</sup>  
R. Salazard<sup>3</sup>  
V. Ducruet<sup>3</sup>  
MF. Lacrampe<sup>1</sup>  
P. Krawczak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mines Douai, Department of Polymers and Composites Technology & Mechanical Engineering, 941 rue Charles Bourseul, F-59508 Douai, France

<sup>2</sup> CERTECH (CEntre de Ressources TEchnologique en CHimie) ZI C, rue Jules Bordet, B-7180 Seneffe, Belgium

<sup>3</sup> INRA, UMR 1145 Food Process Engineering, 1 avenue des Olympiades, F-91300 Massy, France

## Partenaires



## Financiers

Interreg efface les frontières



France - Wallonie - Vlaanderen



LE FONDS EUROPEEN DE DEVELOPPEMENT REGIONAL ET LA WALLONIE INVESTISSENT DANS VOTRE AVENIR.

## Pôles de compétitivité



## OBJECTIF GENERAL DU PROJET

Etudier l'aspect émissif et **SENSORiel** des matériaux **PLAS**tiques

■ Identifier les défauts sensoriels de différents matériaux polymères tout au long de leur vie :



■ Proposer des améliorations pour limiter l'apparition et/ou l'émission de molécules générant des défauts sensoriels



## CONTRIBUTION DE MINES DOUAI

### 1. Application Emballages plastiques alimentaires

■ Mise en forme – Caractérisation multi-échelle après chaque étape de mise en forme – Estimation de l'état de dégradation => Estimation du risque de générer des néoformés à potentiel toxique/odorant

○ Emballage rigide de type barquette – à base de plastique biosourcé, le polylactide (PLA)

### 2. Applications en Milieux confinés (ex. habitacle automobile)

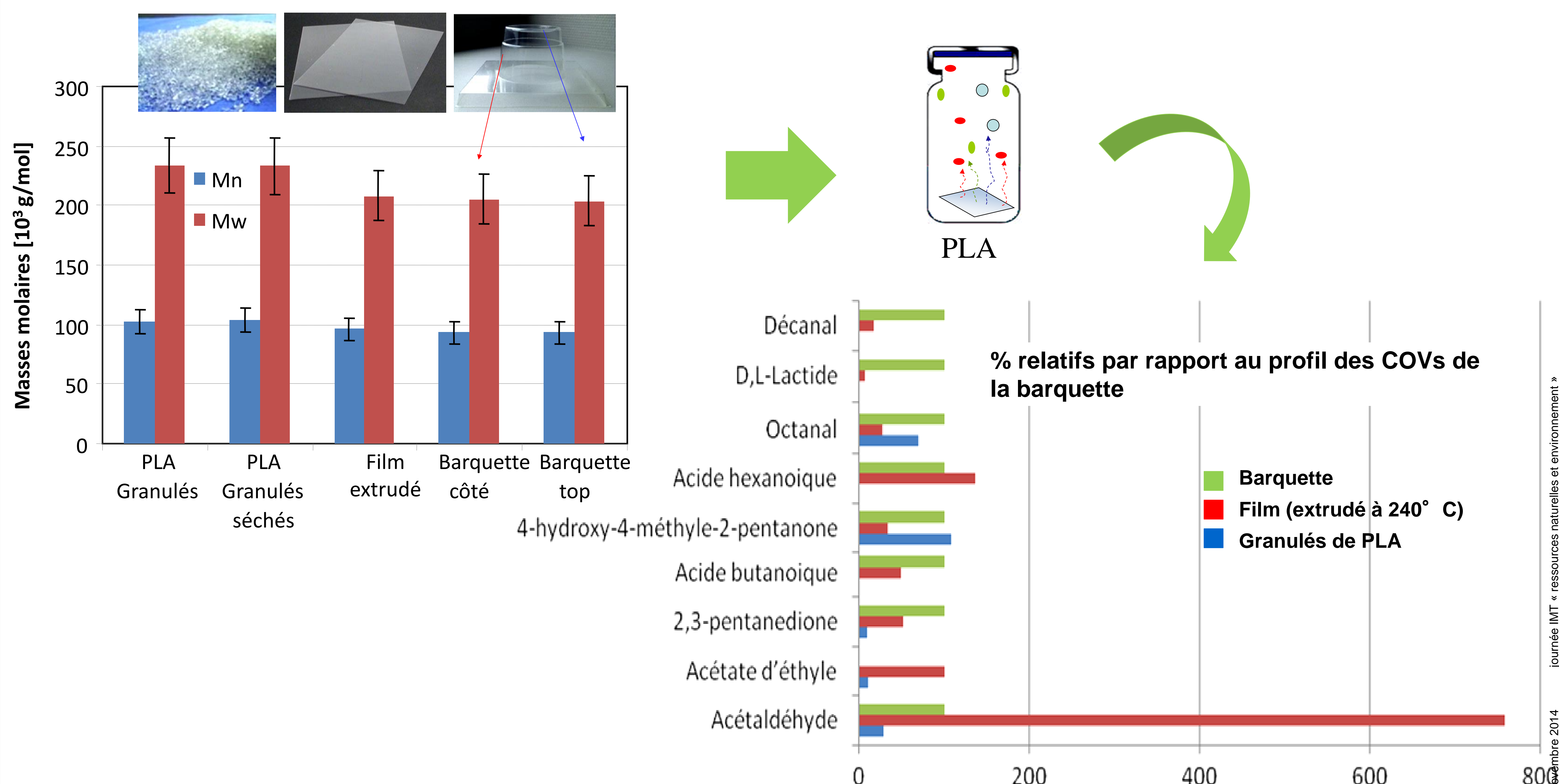
■ Mise en forme des biocomposites PLA +10 wt% fibres de cellulose – Caractérisation multi-échelle et des interfaces matrice/fibres – Estimation de l'état de dégradation des polymères

■ Développement de formulations à faible odeur globale, à l'aide d'agents de remédiation absorbants

## EXEMPLE DE RESULTATS : Cas d'une barquette en PLA

■ Emission de composés organiques volatils par le polymère, même dans le cas d'une faible dégradation du PLA (mise en forme)

■ Profil des COVs émis par le matériau fonction de son historique de mise en forme

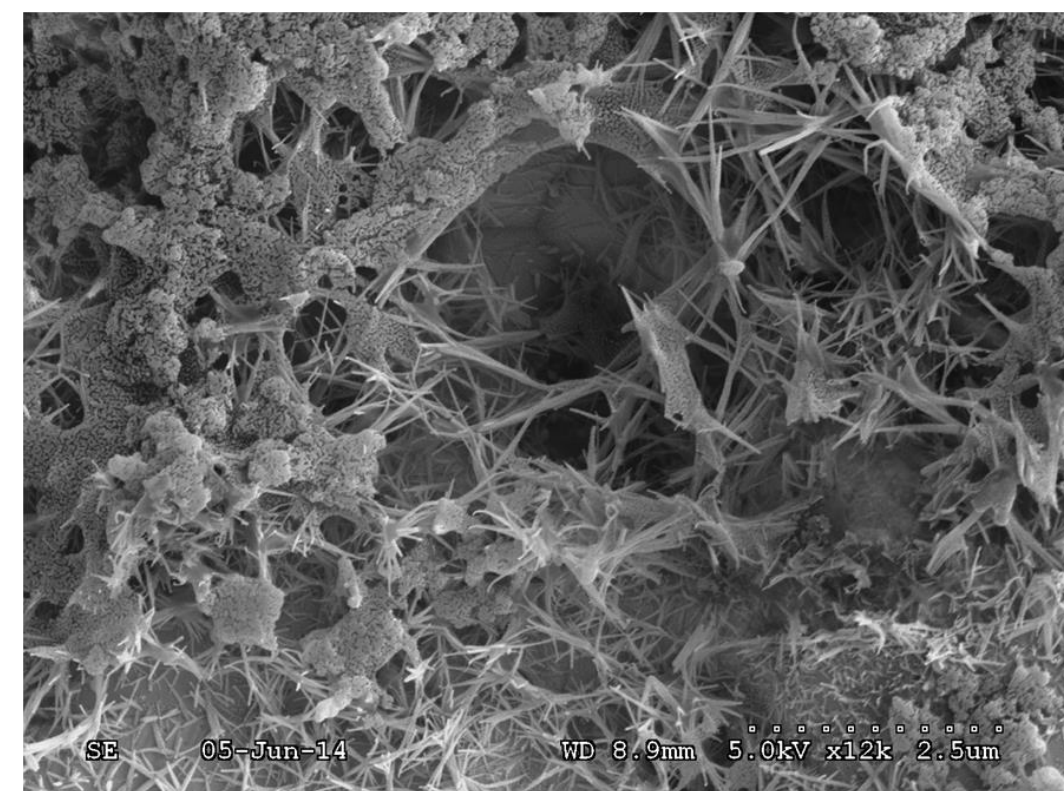


## Résumé

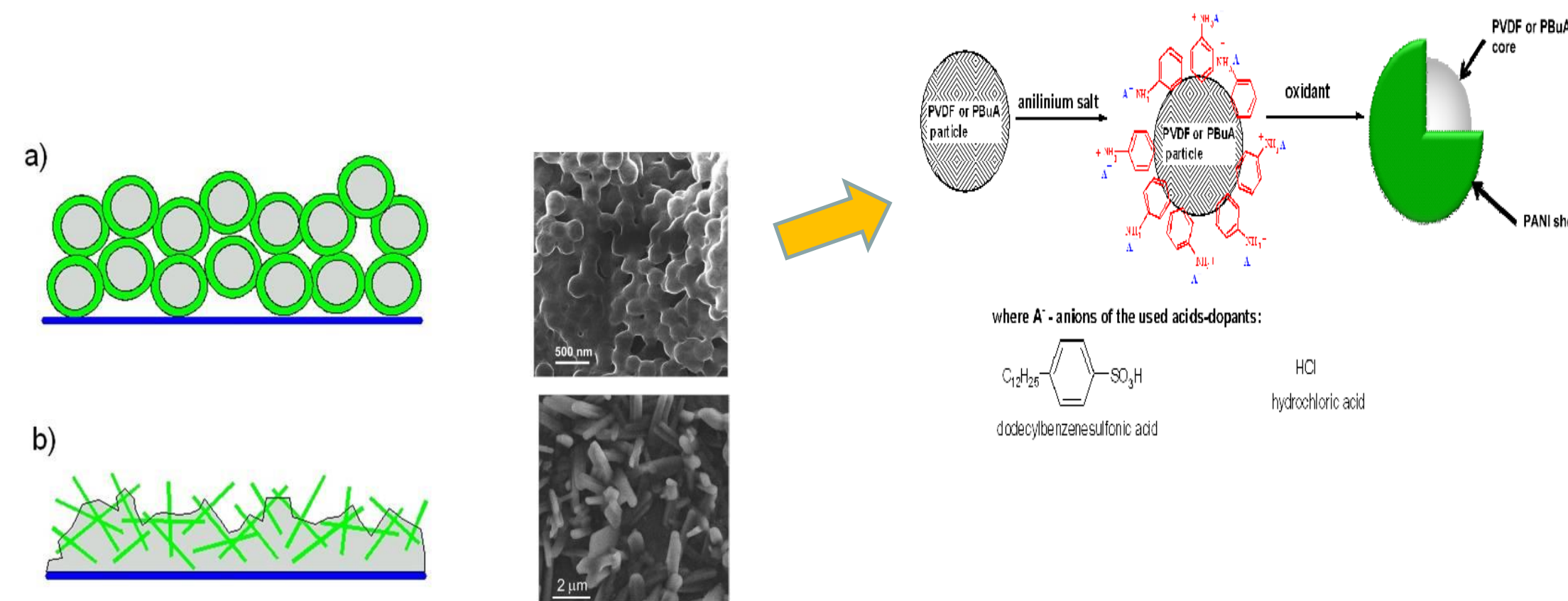
La détection de gaz polluants et toxiques est d'une importance primordiale pour la qualité de vie, la sécurité et la santé des citoyens. Dans notre projet de recherche, nous visons à concevoir des capteurs électroniques organiques de gaz à hautes performances et à très bas coûts donnant des informations en temps réels avec des seuils de détection très bas. Les performances obtenues sur la détection de l'ammoniac, d'amines et du formaldéhyde sont remarquables avec des seuils de détection de l'ordre du ppb et des temps de réponse de l'ordre de la minute. Le principe de détection est basé sur la variation de résistance d'une surface sensible en fonction de la concentration de gaz. Pour ce faire nous travaillons sur la synthèse de polymères conducteurs nanostructurés dont on peut optimiser les propriétés physico-chimiques pour adapter leurs réponses à un gaz donné.

## Synthèse des matériaux et mécanisme d'interaction

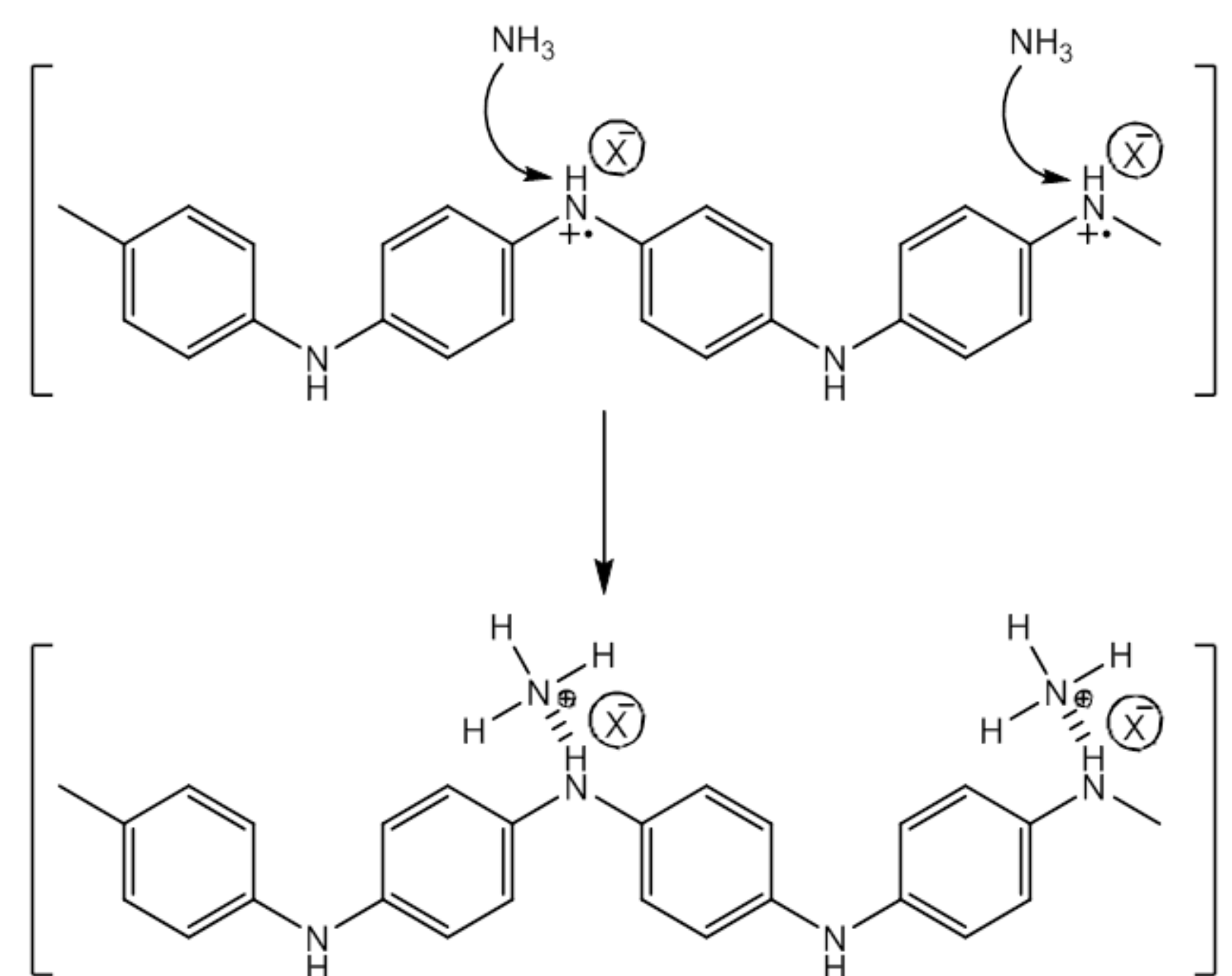
Pour réaliser les capteurs, nous utilisons de la polyaniline. Les méthodes et les conditions de synthèse sont déterminantes pour la morphologie et les propriétés finales des matériaux. Nous utilisons la synthèse à l'aide de microondes (Auckland University) pour donner des nanofibres, ou une synthèse en une étape de la polymérisation chimique de l'aniline en présence de nanoparticules de  $\text{TiO}_2$  et d'acide sulfonique (DBSA) ou de l'acide lauryl sulfurique pour former des morphologies de type core shell (IBCP-Kiev)



Composites PANI-PU sous forme de nanofibres [1]



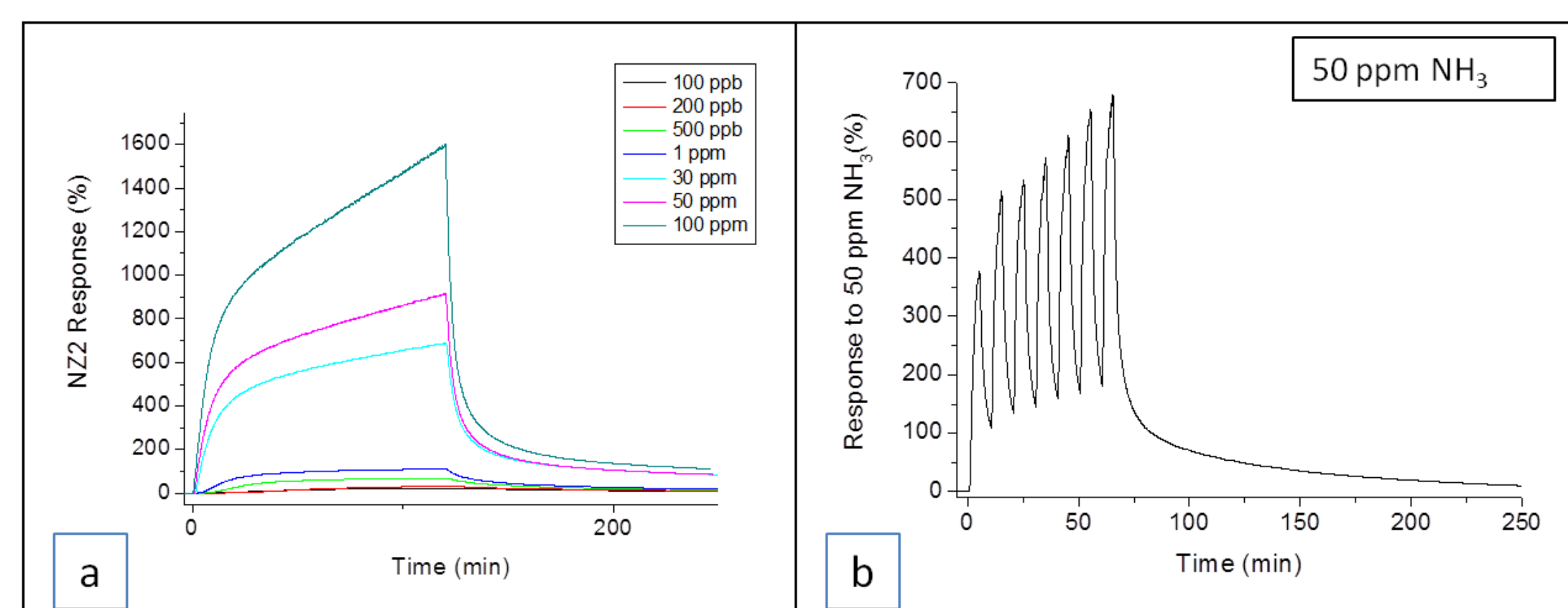
## Mécanisme d'interaction gaz-polymère avec l'ammoniac ou les amines



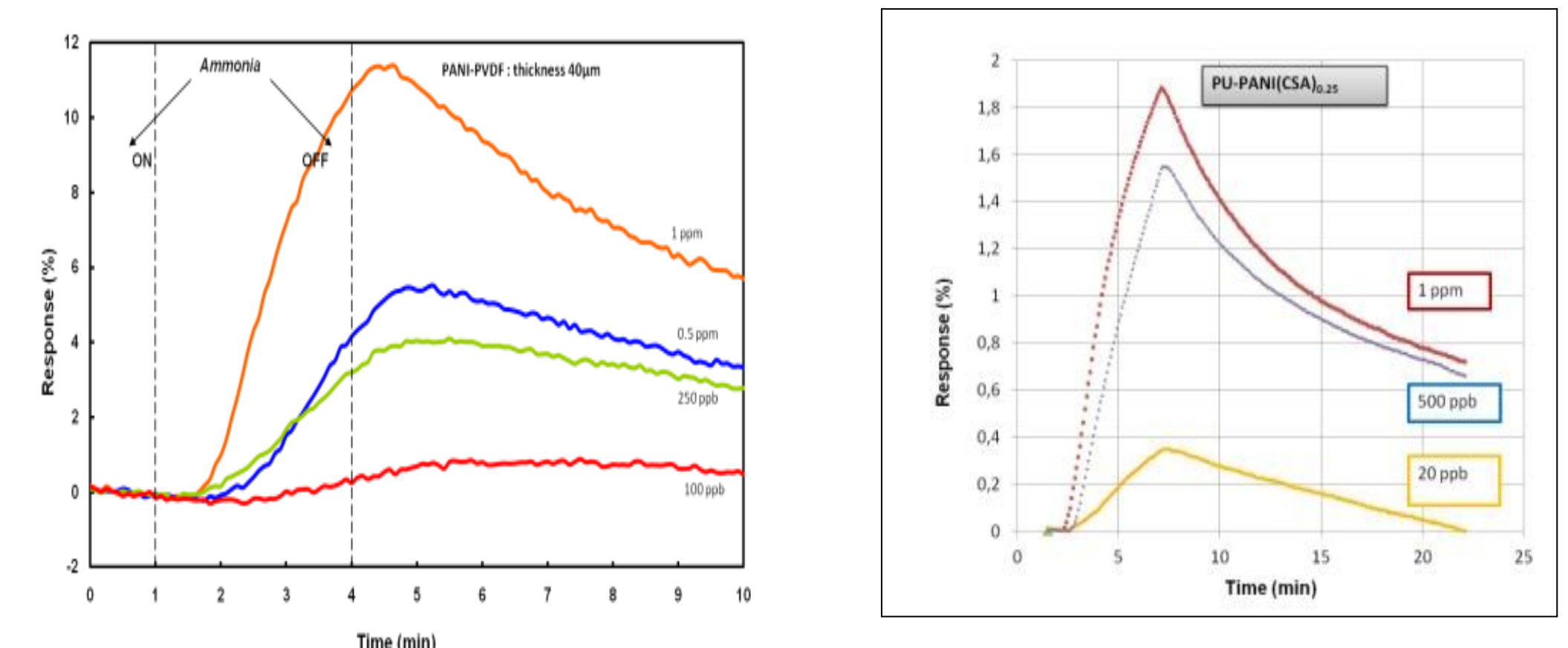
L'ammoniac ou l'amine réagit avec le  $\text{H}^+$  de la PANI induisant une localisation des polarons. Cela provoque une augmentation de la résistance électrique du matériau. Quand le capteur est soumis à de l'air frais l'ion ammonium se décompose en ammoniac et en  $\text{H}^+$  qui retourne sur la chaîne de PANI en restaurant sa résistance électrique initiale.

## Auto régénération du capteur

## Quelques résultats



Réponse typique de polymères synthétisés à l'aide de microondes entre 100 ppb et 100ppm d'ammoniac



Réponse des capteurs à très faibles niveaux d'ammoniac

**Ces capteurs électroniques sont non seulement adaptés pour la surveillance de la qualité de l'air mais leurs performances ouvrent de nouvelles perspectives d'applications dans le domaine du diagnostic médical**

## Références

JL Wojkiewicz, V Bliznyuk, S.Carquigny, N.El Kamchi, N.Redon, T.Lasri, A.A.Pud, *Nanostructured Polyaniline-based composites for ppb range ammonia sensing*, Sensors & Actuators B : 160 (2011) pp 1394-1403 (facteur d'impact 3,89)  
T. Mérian, N.Redon, Z. Zujovic, D. Stanisavljev, JL Wojkiewicz, M. Gizdavic-Nikolaidis, "Ultra sensitive ammonia sensors based on microwave synthesized nanofibrillar polyanilines" Sensors&Actuators, B 203 (2014) 626 (facteur d'impact 3,89)

## Parties prenantes



## Auteurs

Eric Duviella  
Lala Rajaoarisoa

## Partenaires



## SYSTÈMES HYDRAULIQUES À SURFACE LIBRE

### Caractéristiques et particularités

- Grandes dimensions
- Sans pente significative
- Commande des débits  $Q_i$
- Sujet à des phénomènes de résonance
- Entrées – sorties inconnues

### Hypothèses de fonctionnement

- Régulation autour d'un point de fonctionnement
- Mesure disponible des niveaux  $L_i$
- Temps de transfert connus

$$\tau^u = \begin{bmatrix} \tau_{1,1}^u & \tau_{1,2}^u & \cdots & \tau_{1,n_y}^u \\ \tau_{2,1}^u & \tau_{2,2}^u & \cdots & \tau_{2,n_y}^u \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_{n_u,1}^u & \tau_{n_u,2}^u & \cdots & \tau_{n_u,n_y}^u \end{bmatrix} \quad \tau^y = \begin{bmatrix} 0 & \tau_{1,2}^y & \cdots & \tau_{1,n_y}^y \\ \tau_{2,1}^y & 0 & \cdots & \tau_{2,n_y}^y \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_{n_y,1}^y & \tau_{n_y,2}^y & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{avec : } \tau_{u,d} = \int_0^D \frac{dl}{c(l) + v(l)} \quad \tau_{d,u} = \int_0^D \frac{dl}{c(l) - v(l)}$$

D : longueur du système, c(l) : célérité, v(l) : vitesse.

### Approche d'identification

- Structure du modèle

$$y_{k+1} = A \bar{y}_k |_{\tau^y} + B \bar{u}_k |_{\tau^u} \quad \text{avec :}$$

- Expression de la sortie estimée

$$\hat{y}_{k+1} = M \Phi_k$$

$$\text{avec : } M = [A \ B] \quad \Phi_k = [\bar{y}_k |_{\tau^y} \ \bar{u}_k |_{\tau^u}]^T$$

- Identification des matrices A et B

$$\hat{M} = Y \bar{\Phi}^T (\bar{\Phi} \bar{\Phi}^T)^{-1}$$

$$\bar{y}_k |_{\tau^y} = [L_1(k) \ L_2(k - \tau_{1,2}^y) \ \cdots \ L_{n_y}(k - \tau_{1,n_y}^y) \\ L_1(k - \tau_{2,1}^y) \ L_2(k) \ \cdots \ L_{n_y}(k - \tau_{2,n_y}^y) \\ \cdots \ L_{n_y}(k)]^T$$

$$\bar{u}_k |_{\tau^u} = [Q_1(k - \tau_{1,1}^u) \ Q_2(k - \tau_{1,2}^u) \ \cdots \ Q_{n_u}(k - \tau_{1,n_y}^u) \\ Q_1(k - \tau_{2,1}^u) \ Q_2(k - \tau_{2,2}^u) \ \cdots \ Q_{n_u}(k - \tau_{2,n_y}^u) \\ Q_1(k - \tau_{n_u,1}^u) \ Q_2(k - \tau_{n_u,2}^u) \ \cdots \ Q_{n_u}(k - \tau_{n_u,n_y}^u)]^T$$

## APPLICATION AU BIEF QUINCHY-FONTINETTES

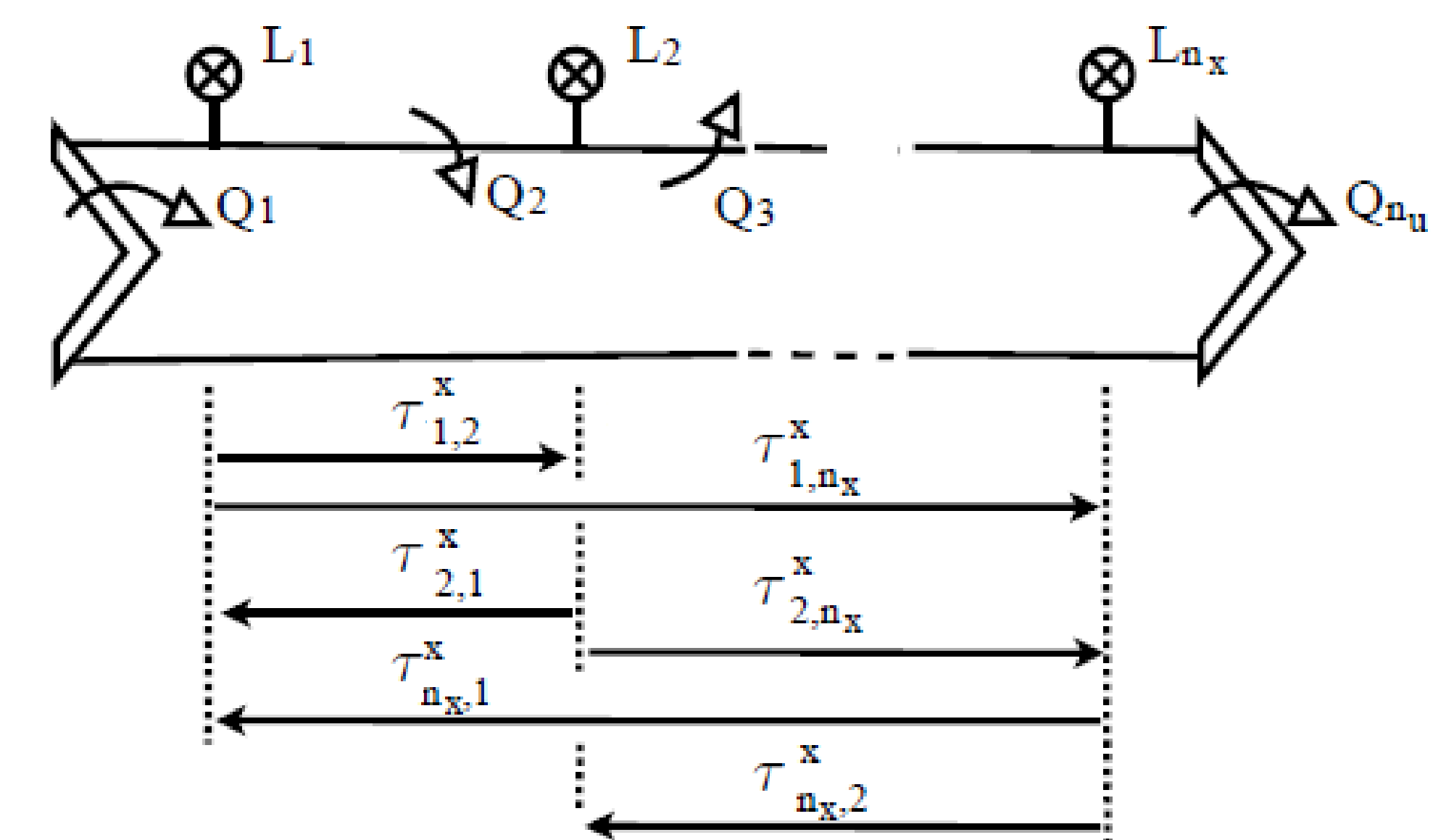
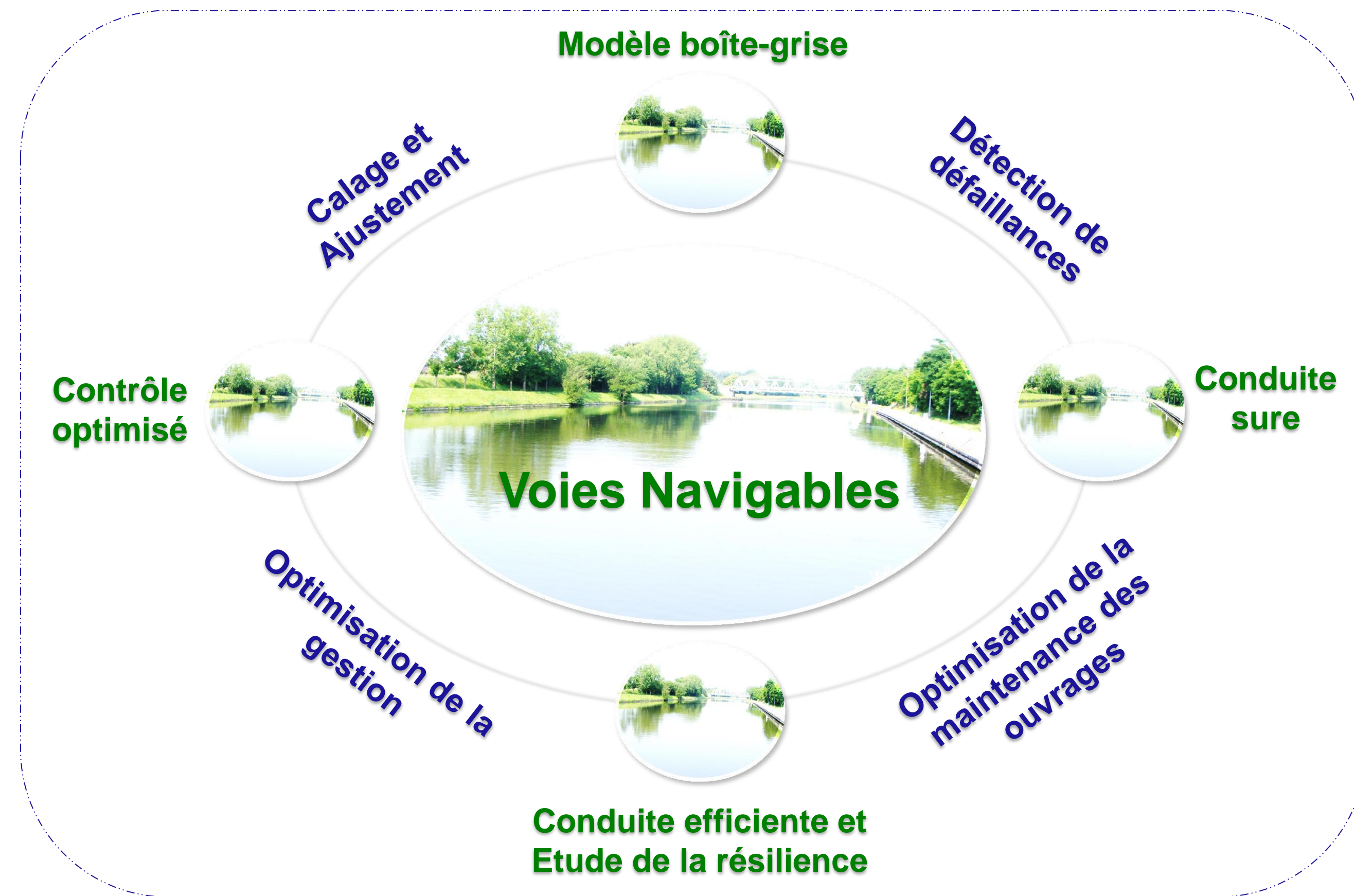
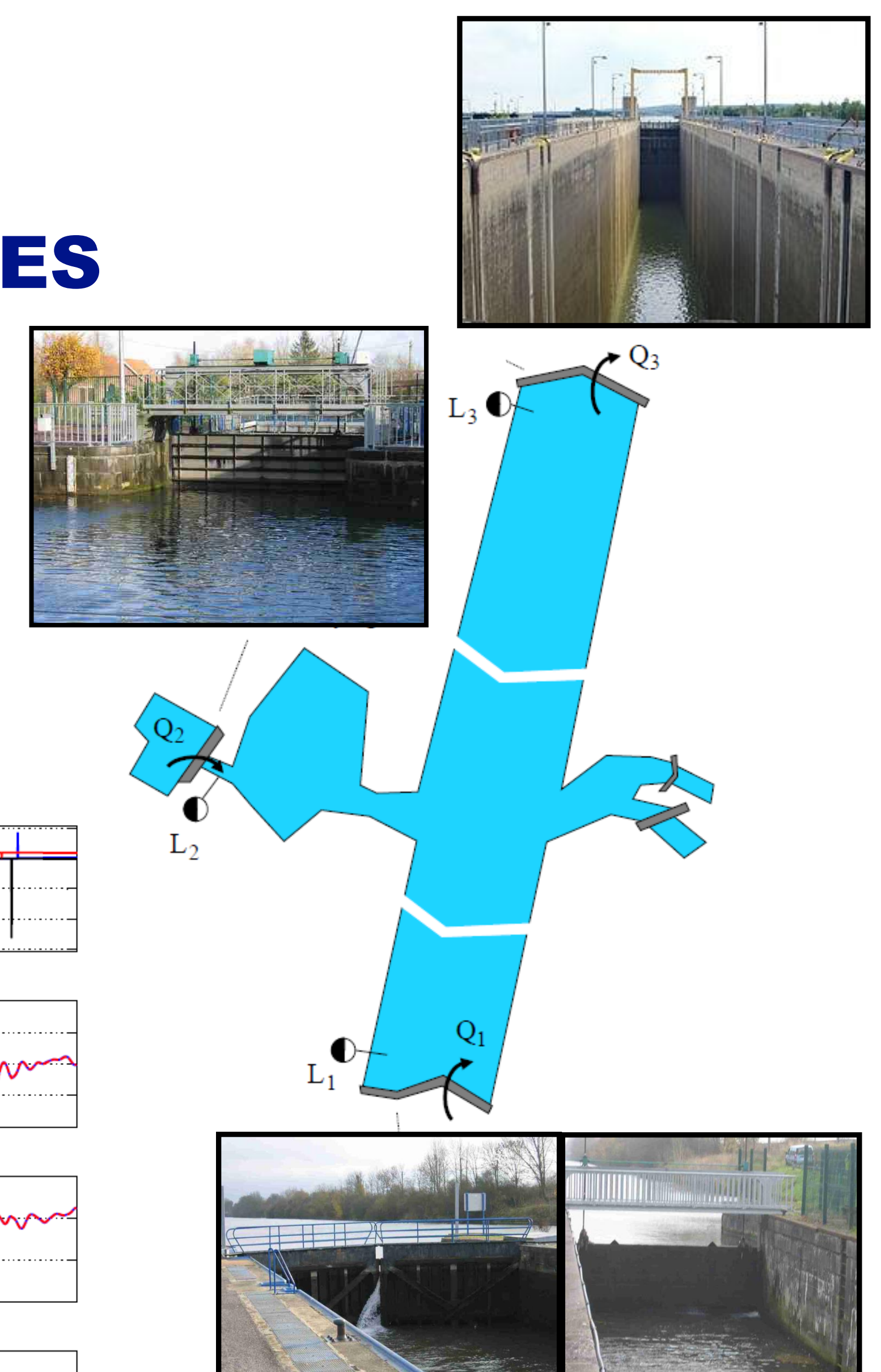
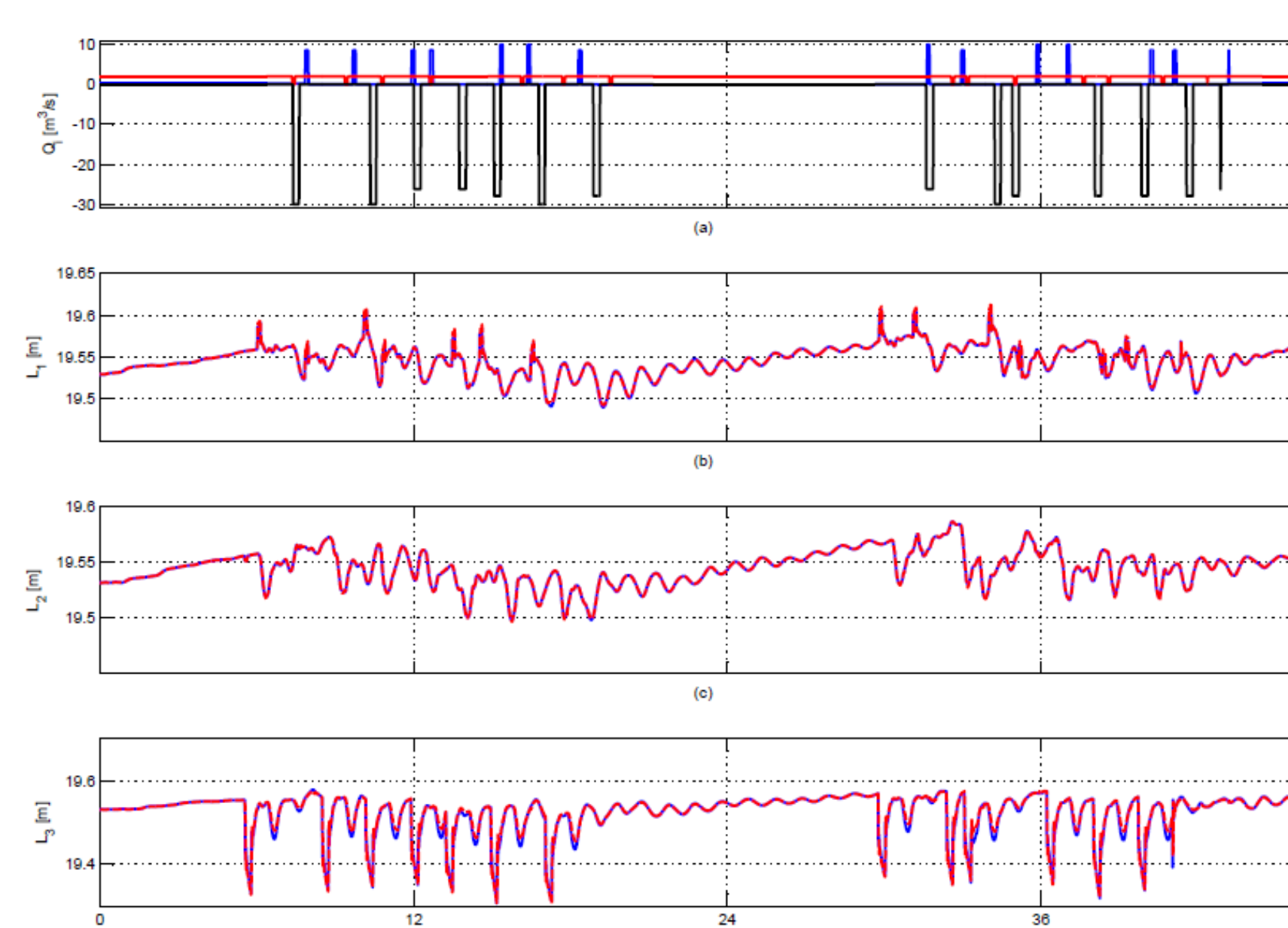
### Présentation

- Bief du Nord-Pas de Calais
- Position centrale entre 3 bassins versants
- 42 km de long
- 3 entrées contrôlées  $Q_1$  à  $Q_3$ , 3 points de mesure  $L_1$  à  $L_3$

### Résultats de simulation

- Scénarios de fonctionnement réel
- Coefficient de vraisemblance

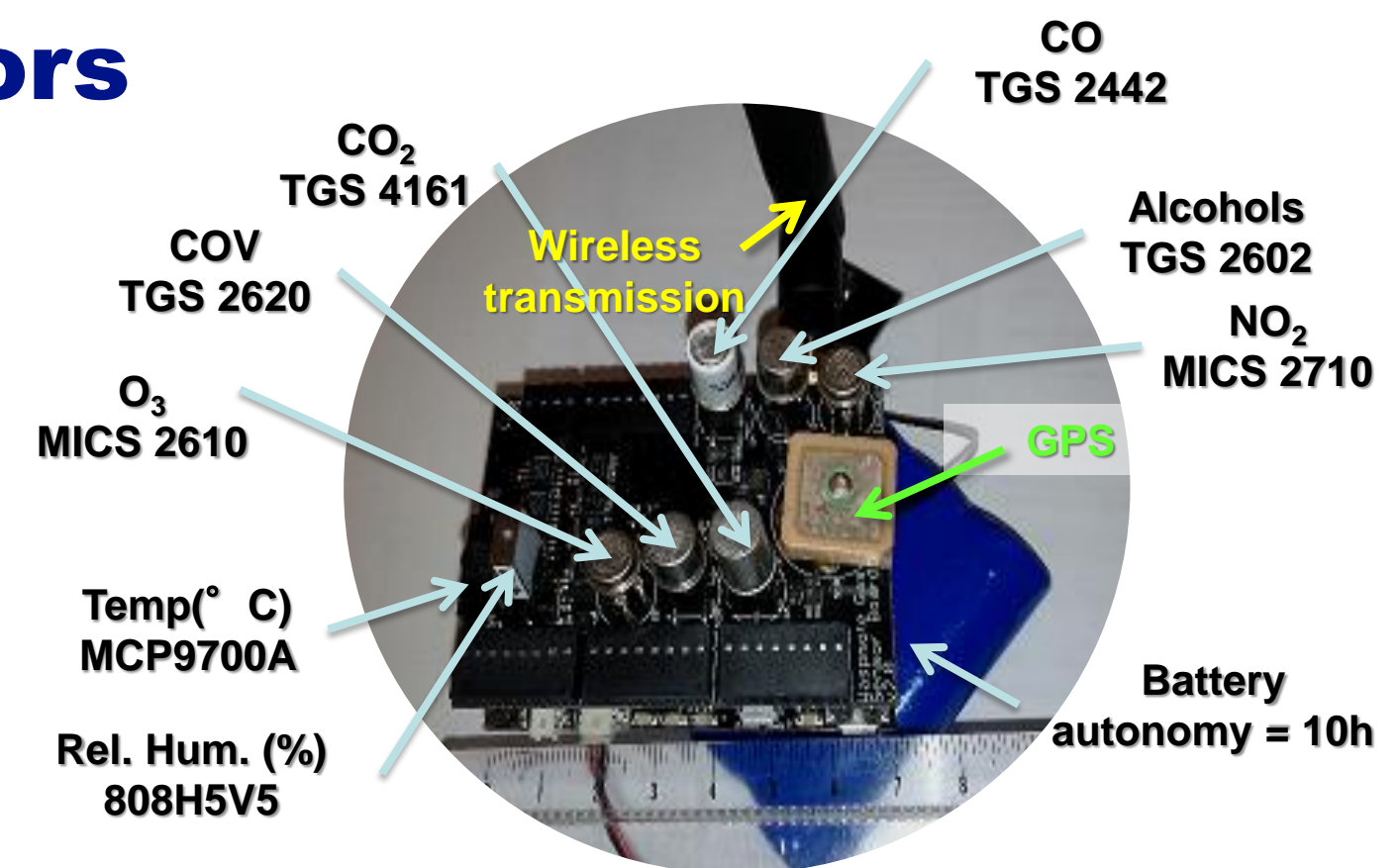
$FIT_{L_1}$	$FIT_{L_2}$	$FIT_{L_3}$
85	95	75



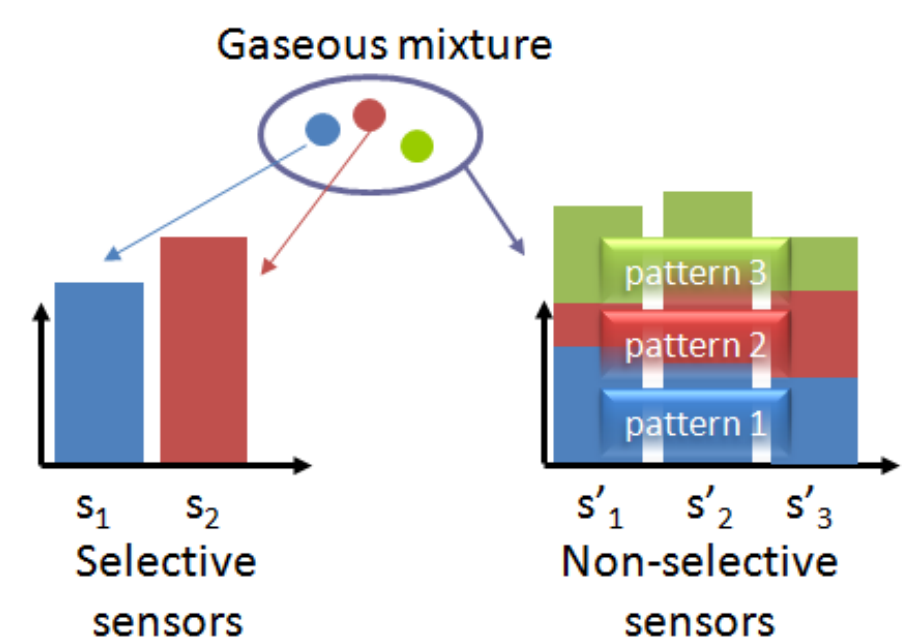
## Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensors in Environmental Monitoring

### Qualitative and semi-quantitative tools

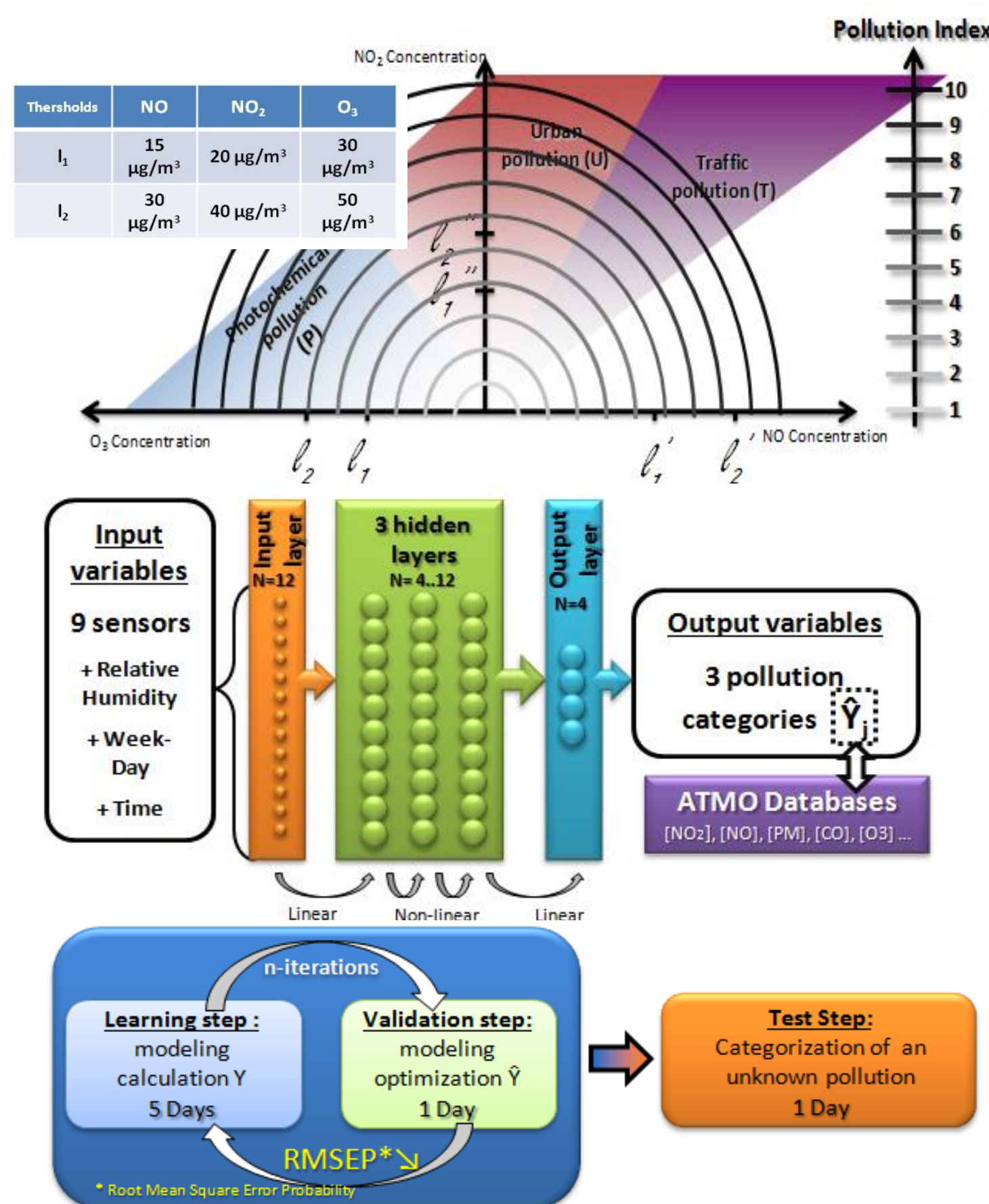
- A major social issue of pollution detection is to inform, in real time, state agencies and public on the quality of indoor or outdoor air, in order to trigger alerts when critical thresholds are exceeded and to implement corrective actions. Therefore, scientists have to build indicators easy to understand and interpret by everyone, and instruments enough accurate to provide qualitative and semi-quantitative data. In such pollution detection topics, electronic gas sensors networks, especially those based on metal oxide semi-conducting materials, can provide pertinent answers : thanks to their **small size**, their **autonomy**, their **ease of use** and their **low cost**, it is possible to have **numerous mobile** systems for gridding an area and build index of pollution in **real time**.



Libelium system based on an Arduino acquisition card : 6 sensors, specifically selected to detect a broad spectrum of gaseous species : regulated gases (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO ...), most commonly species found in the atmosphere (VOCs), and some specific industrial sources (NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, ...)



- Semiconductor gas sensors show a low selectivity to specific gases in a complex mixture, but each type of sensor reacts differently to each family of gas species. So, with adequate **pattern recognition algorithms** (multivariate analyses such as neural networks), this drawback can be turned into an advantage to identify of an overall signature of pollution.



## Outdoor air pollution categorization and indexation

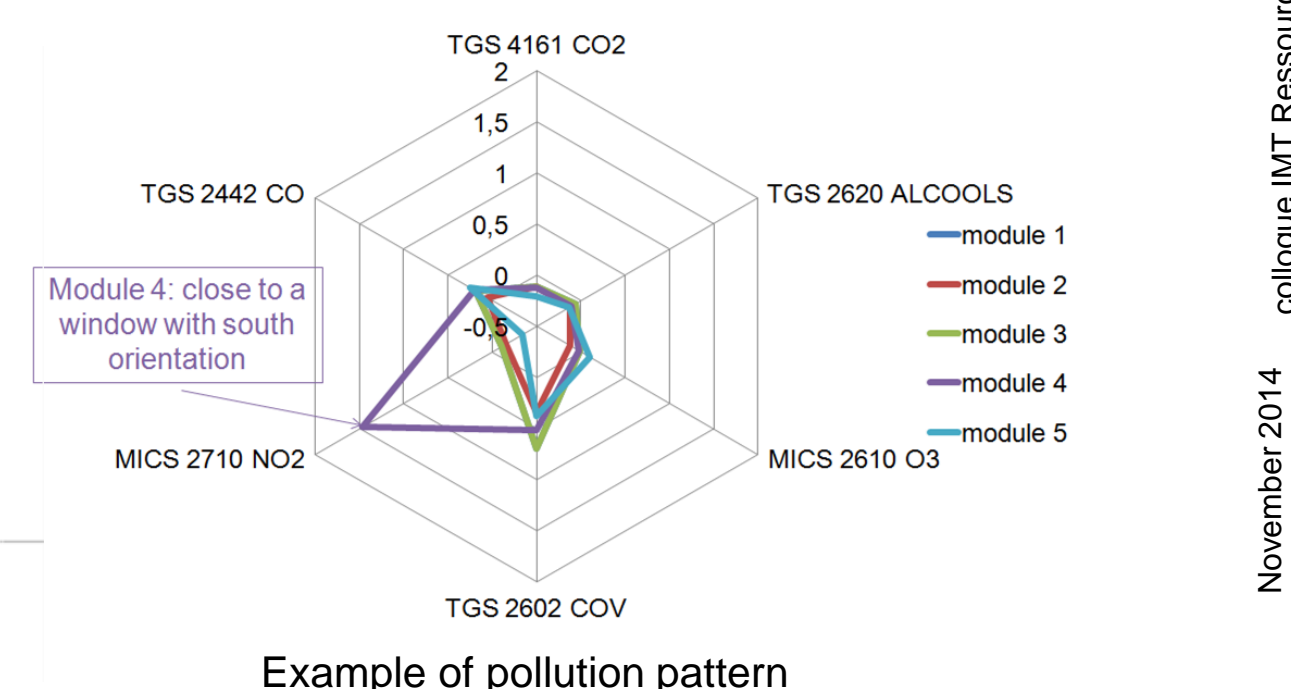
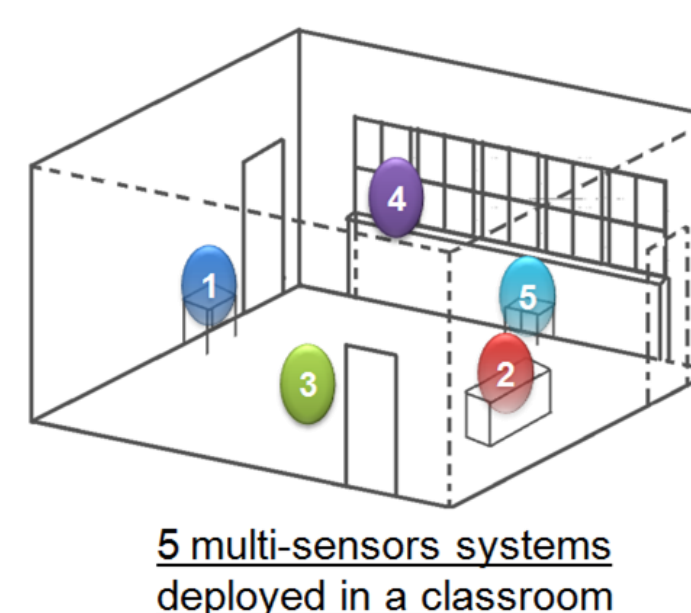
### Field campaigns

- 3 multi-sensors systems were installed in 7 monitoring air stations (ATMO) in North of France.
- From the annual station data, were extracted similarities between signatures of same type of stations. The correlations between the concentrations of NO and NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> allow to establish 3 categories of pollution: Traffic(T), Urban(U), Photochemical(P), associated to an intensity index ranging from 0 (i.e. no pollution), to 10 (very intense).
- A modeling based on neural network is built by comparing 6 days of measurement of the conductance sensors, with additional information such as time, humidity, ... to data from air quality monitoring stations.
- A classification rate is calculated on a "test" day, from the gap between the class Y determined from sensors data, and  $\hat{Y}$  category obtained from data collected by ATMO analyzers.
- The classification rates are quite satisfying since they are always above 85% during the whole 8 weeks of the campaign.

## Indoor air quality signatures of building

### MERMAID Campaign

- 5 multi-sensors systems were installed into a classroom in order to monitor indoor-air quality, and results are compared to chemical analyses
- Module n° 3, placed on the floor, pointed out high levels of VOC concentrations, which was confirmed by chemical measurements, with a very high concentration of toluene.
- Module n° 4, placed close to the window, shows NO<sub>2</sub> concentrations, probably due to outside traffic pollution.



### Parties prenantes



### Auteurs

Nathalie REDON  
 Alexandre CARON  
 Zaher AL BARAKEH  
 Nadine LOCOGE  
 Patrice CODDEVILLE  
 Benjamin HANOUNE  
 Christophe PIJOLAT  
 Philippe BREUIL  
 Jean-Paul VIRICELLE

### Partenaires



## Résumé

Les atmosphères intérieures sont particulièrement riches en Composés Organiques Volatils (COV), avec **des concentrations 2 à 10 fois supérieures à celles mesurées en extérieur**. Bien que cette pollution représente un enjeu sanitaire majeur, la grande diversité des sources de COV impliquées et le manque d'outils pour la mesure in-situ des émissions rendent **la mise en œuvre de stratégies d'amélioration de la qualité de l'air intérieur (QAI)** difficile. Afin de répondre à ce manque, une thématique de recherche portant sur le développement d'outils dédiés à la mesure des émissions en COV des matériaux de construction et d'ameublement a été mise en place au sein du département SAGE.

Plusieurs échantillonneurs passifs, **peu coûteux et faciles d'utilisation**, ont été qualifiés en laboratoire et utilisés à l'intérieur de bâtiments afin de réaliser des diagnostics de sources d'émission. Ces échantillonneurs ont permis d'**identifier et de hiérarchiser l'importance des sources** de certains composés très préoccupants en air intérieur, par exemple le formaldéhyde et les composés de type aromatique. Les travaux menés soulignent le potentiel de ces outils pour la mise en place de stratégies d'amélioration de la QAI.

## Préleveurs passifs dédiés à la mesure des émissions de matériaux de construction et d'ameublement

Trois échantillonneurs différents permettent de couvrir la plupart des COV réglementés par l'étiquetage des matériaux (JORF n° 0111 du 13 mai 2011, texte 15, arrêté du 19 avril 2011)

### PFS-DNPH :

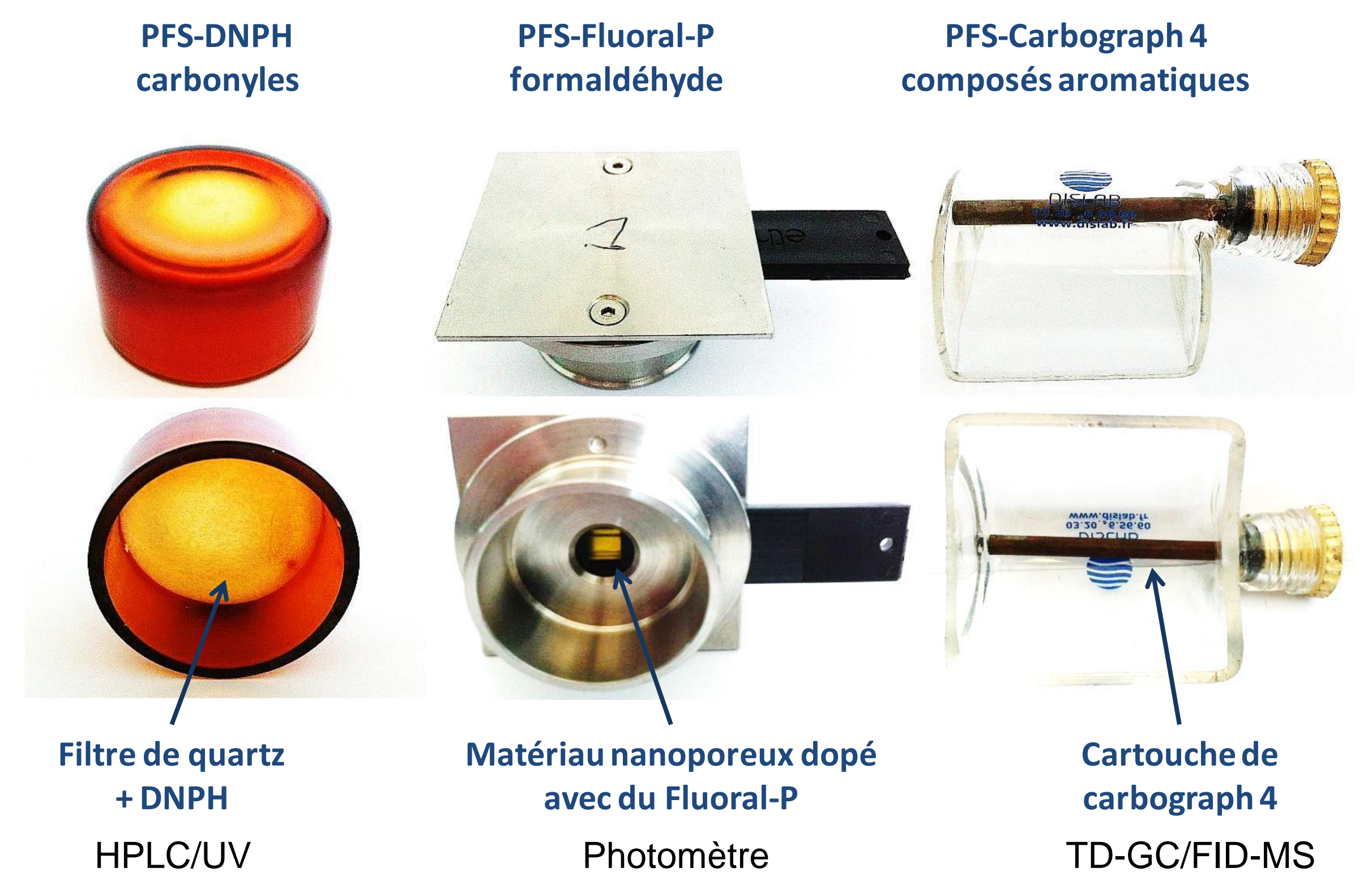
- Substrat chimique analysé par chromatographie liquide (HPLC/UV)
- Quantification des émissions en formaldéhyde et acétaldéhyde

### PFS-Fluoral-P :

- Monolithe poreux dopé avec du Fluoral-P analysé par spectrophotométrie
- Quantification des émissions en formaldéhyde

### PFS-Carbograph 4 :

- Adsorbant analysé par chromatographie gazeuse
- Quantification des émissions en composés aromatiques (benzène, toluène, xylènes...)



## Parties prenantes



## Auteurs

G. POULHET<sup>1,2</sup>, S. DUSANTER<sup>1</sup>,  
S. CRUNAIRE<sup>1</sup>, N. LOCOGE<sup>1</sup>,  
P. KALUZYNY<sup>2</sup>, P. CODDEVILLE<sup>1</sup>

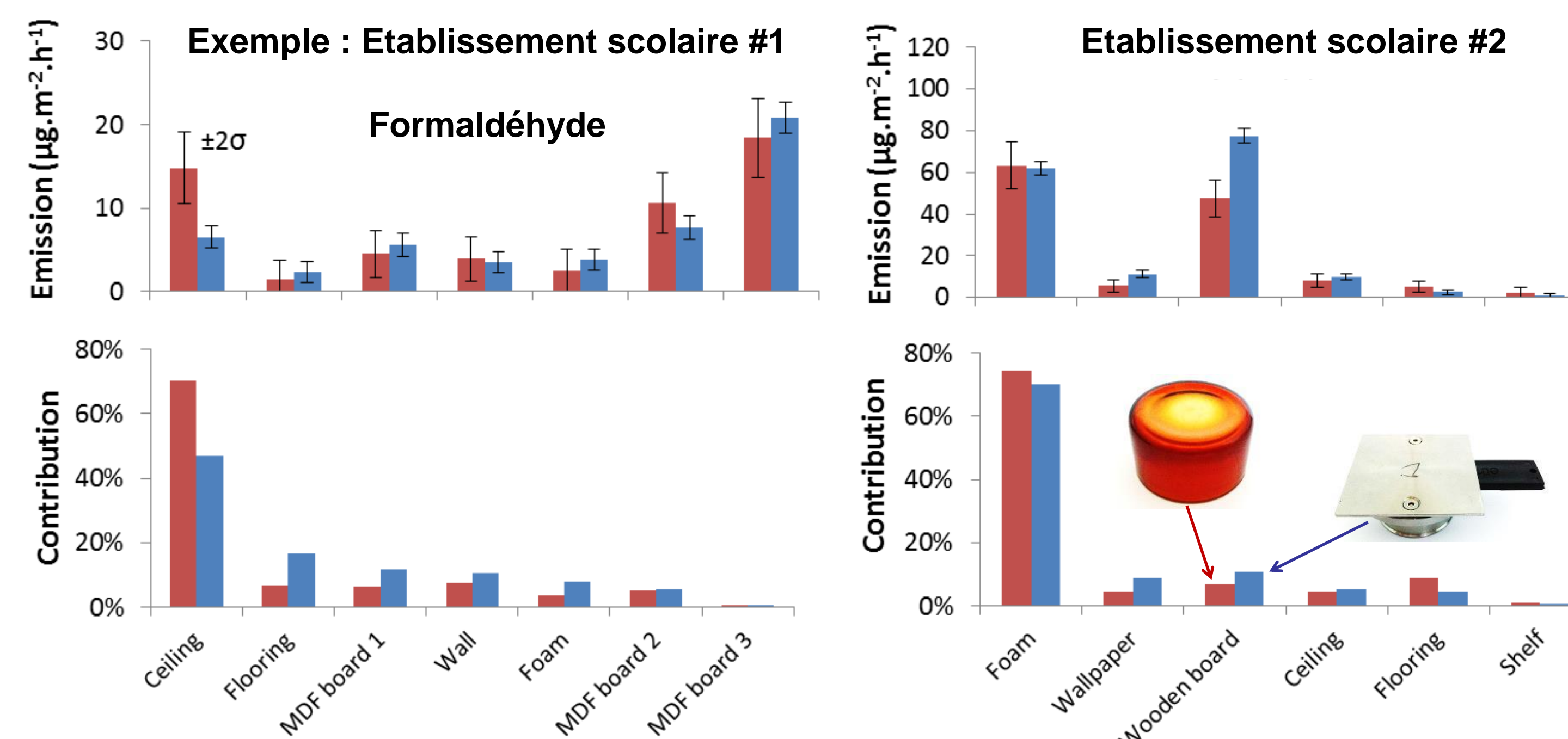
<sup>1</sup> Mines Douai, SAGE, F-59508 Douai

<sup>2</sup> Tera Environnement, 38926 Crolles

## Partenaires



## Diagnostics de sources d'émission réalisés dans différents types de bâtiments



- Principaux émetteurs identifiés
- Résultats similaires quelque soit le PFS utilisé : robustesse de la méthode
- Sources hiérarchisées en fonction de leur contribution à l'émission totale d'un polluant
- Aide au développement de stratégies d'amélioration de la qualité de l'air intérieur

Diagnostics de sources d'émission réalisés dans **24 chambres d'étudiants** (formaldéhyde), **8 établissements scolaires** (formaldéhyde et acétaldéhyde), **12 appartements** (formaldéhyde et acétaldéhyde), **1 appartement** (composés aromatiques)

Plusieurs diagnostics de sources d'émission en cours dans des appartements neufs (composés aromatiques) en collaboration avec l'entreprise NORPAC

$$Cont. = \frac{T \times S}{\sum_i T_i \times S_i}$$

Contribution (%) =  $\frac{T \times S}{\sum_i T_i \times S_i}$

Taux d'émission (µg/m<sup>2</sup>/h) =  $T_i$

Surface (m<sup>2</sup>) =  $S_i$



### Les nouveaux défis du bâtiment

- Une consommation d'énergie primaire limitée à 50 kWh/m<sup>2</sup>/an
- De nouveau schéma de conception :
  - Renforcement de l'isolation
  - Système de ventilation double flux
  - Chauffages performants
  - Protection solaire

#### Objectifs du Plan National Santé Environnement

- Une meilleure étanchéité à l'air: quelles conséquences sur la QAI ?
  - Campagne OQAI dans les BPE
- Etiquetage COV des matériaux
- Surveillance des lieux publics
  - Formaldéhyde / Benzène / Confinement

### Le projet MERMAID (2013-2015)

Caractérisation détaillée de l'air intérieur des bâtiments BBC par couplage entre Mesures Expérimentales Représentatives et Modélisation Air Intérieur Détaillée

Un Consortium d'Expérimentateurs de de Modélisateurs Années 2013-2015

- Quels sont les processus qui contribuent majoritairement à la QAI ?
- Quelle est la part de la réactivité en AI?
- Quels sont les bénéfices de la construction BPE sur la QAI?

**Pré-campagnes** / 10 bâtiments / 4jours ½  
Mesure des paramètres de confort, des polluants réglementés  
Screening large des COV

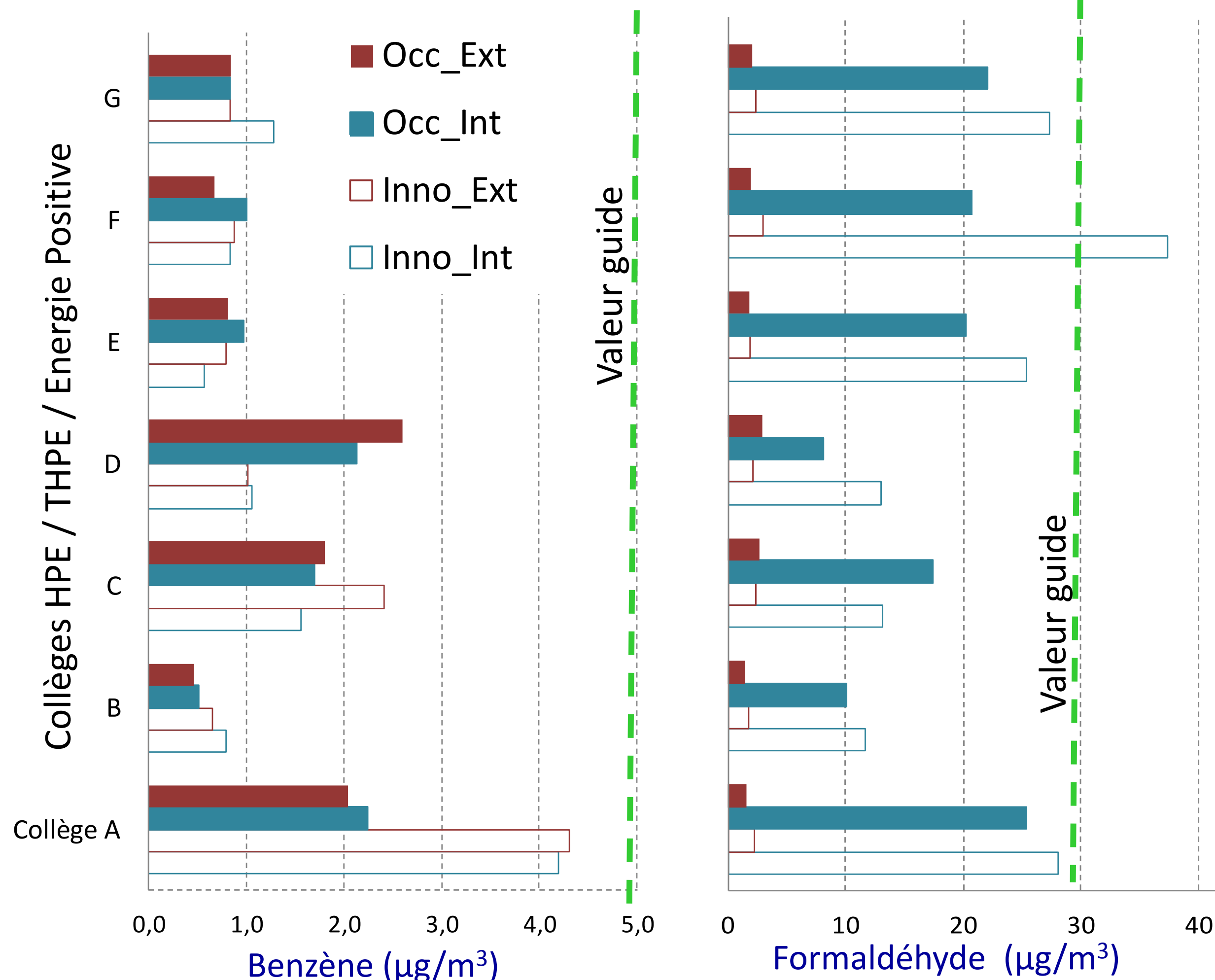
**Campagne lourde** / 1 bâtiment / 15 jours (été – hiver)  
Mesures des émissions et Paramètres de sorption des matériaux du bâti - Suivi des [COV] avec une résolution temporelle fine

Développement d'un **modèle de prédiction** adapté à l'Air Intérieur, incluant tous les déterminants

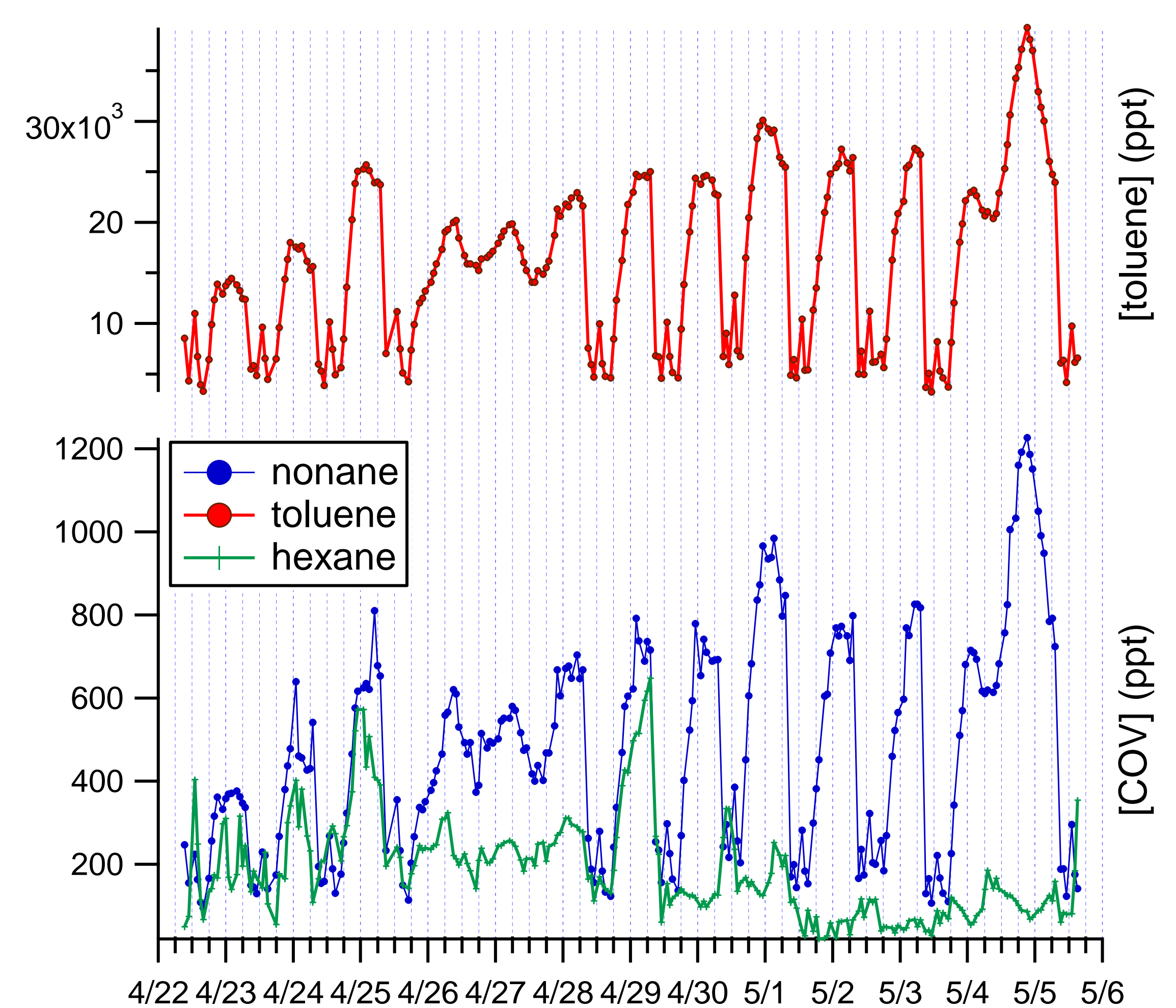
Mise en évidence des **processus majoritaires** et profils associés

#### PRÉ-CAMPAGNES: Mesures moyennées

Echantillonnage passif (4jours ½): En intérieur / extérieur / période occupée / inoccupée



#### SUIVI TEMPOREL [COV]:



- ✓ Objectif Valeur guide atteint en période occupée
- ✓ [benzène]<sub>in</sub> = f([benzène]<sub>out</sub>) → source principale extérieure
- ✓ [formaldéhyde]<sub>in</sub> >>> [formaldéhyde]<sub>out</sub> → source principale intérieure
- ✓ [COV]<sub>occ</sub> ≈ [COV]<sub>inno</sub> → pas de source liée aux activités des occupants

- ✓ Toluène / Nonane: Dynamique temporelle importante → concentrations régies par les sources intérieures et la ventilation
- ✓ Hexane: composé de source extérieure / concentration indexée par ventilation et sources extérieures

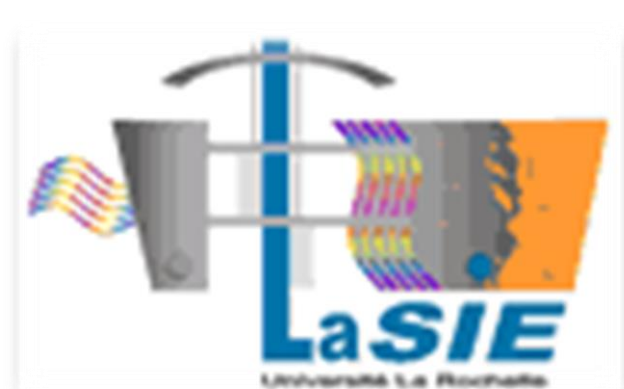
#### Parties prenantes



#### Auteurs

Marie VERRIELE  
Sébastien DUSANTER  
Nadine LOCOGE

#### Partenaires





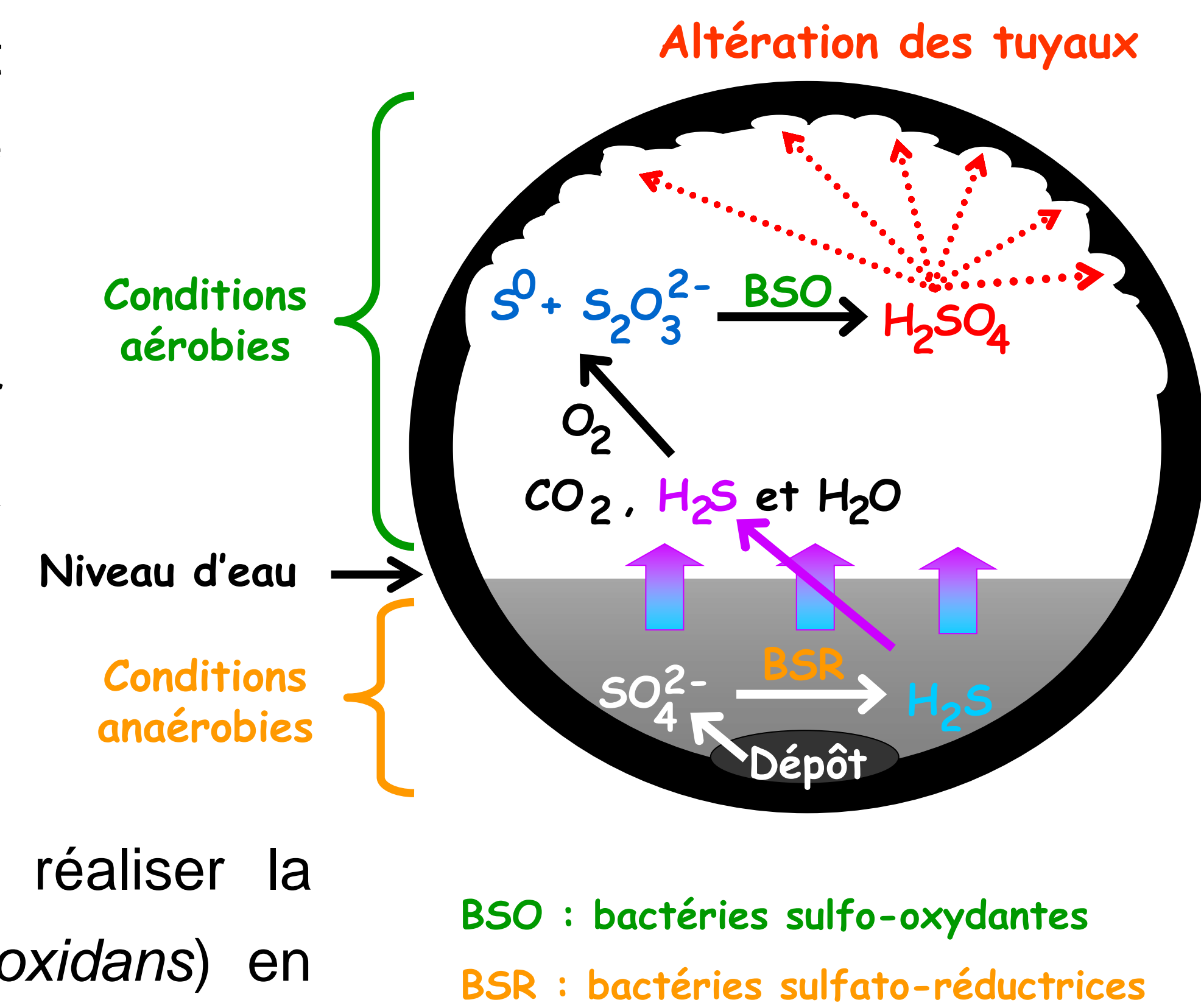
## INTRODUCTION

■ Les tuyaux (en béton ou ayant un revêtement en mortier) des réseaux d'assainissement sont susceptibles d'être attaqués par l'acide sulfurique produit par la succession de bactéries sulfo-oxydantes (BSO) neutrophiles et acidophile conduisant à la ruine de canalisation après quelques années.

■ Il est donc nécessaire de mettre en place des essais de laboratoire pour concevoir des formulations de mortier/béton plus performantes conduisant à une meilleure résistance à l'attaque par l'acide sulfurique biogénéré.

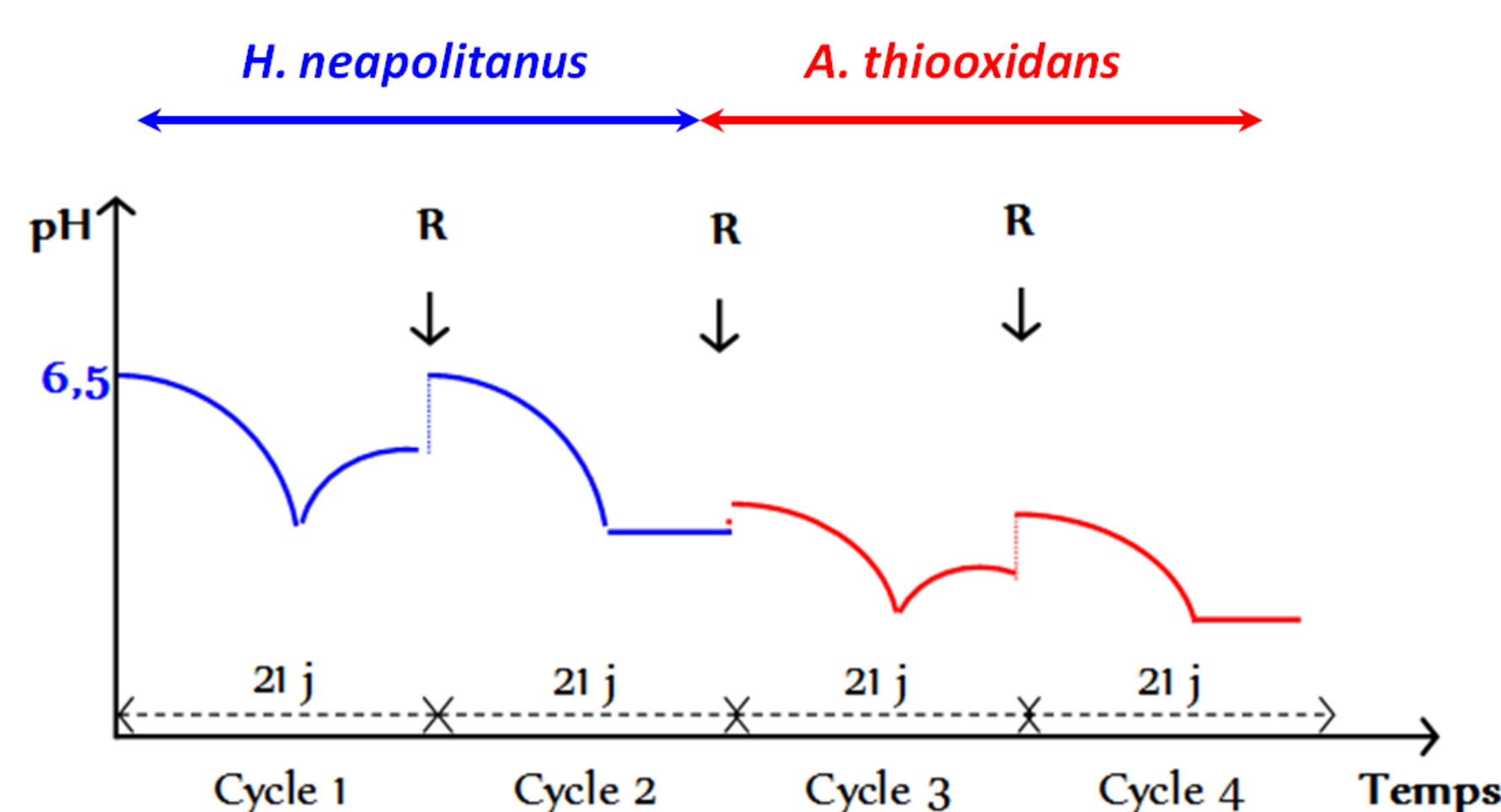
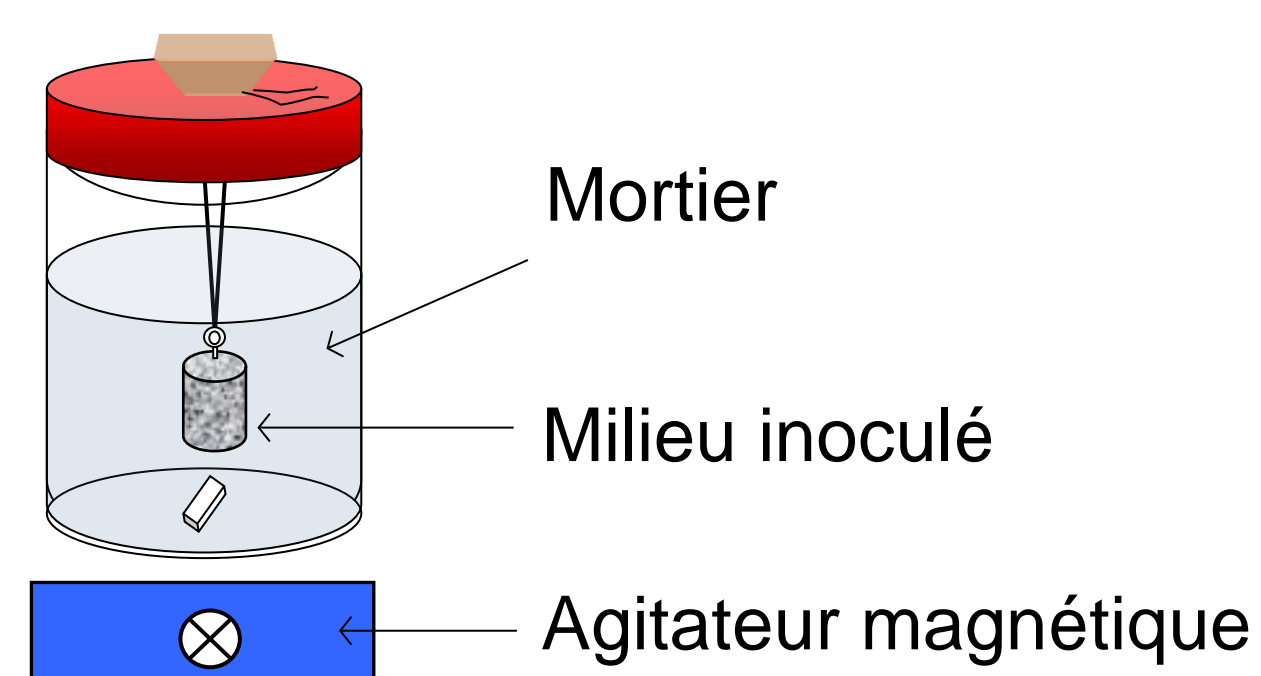
## OBJECTIFS

- Développer un essai de biodétérioration de laboratoire permettant de réaliser la succession de BSO neutrophile (*H. neapolitanus*) et acidophile (*A. thiooxidans*) en conditions contrôlées et reproductibles (notamment vis-à-vis de l'activité bactérienne).
- Définir un paramètre permettant d'évaluer la performance des différentes formulations utilisant en particulier différents types de ciment.



## MATERIEL ET METHODES

### Essai de biodétérioration basé sur une biolixiviation



Ciments utilisés dans les mortiers :

Ciment Portland (OPC) riche en Ca et Si

Ciment Alumineux (CAC) riche en Al et Ca

Pour chaque essai :

4 cycles de biolixiviation de 21 jours pour maintenir les BSO en conditions optimales de croissance

### Performance évaluée par un indice d'attaque (IA)

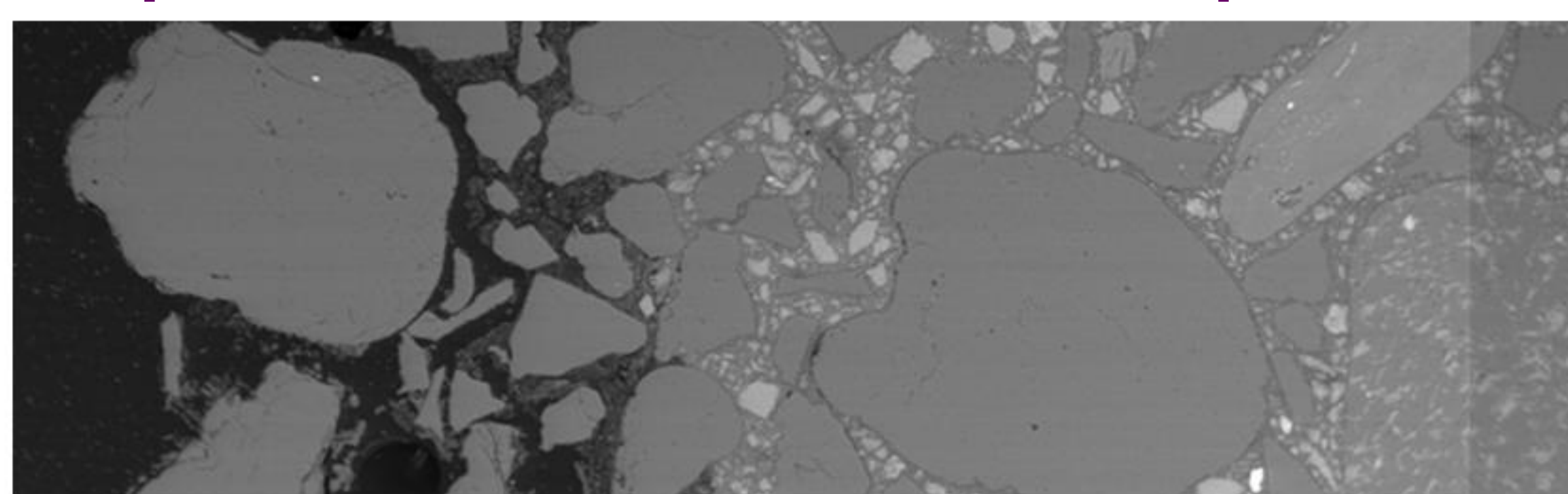
$$IA = \frac{\sum_{Ca,Al,Si} \frac{\text{quantité élément } i \text{ relargué en mmole}}{\text{quantité élément } i \text{ mortier en mmole}} \times \frac{\% \text{ molaire élément } i}{\sum_{Ca,Al,Si} \% \text{ molaire de tous les éléments}}}{[H^+] \text{ initiaux du milieu et biogénérés en mole}}$$

Indice d'attaque volumique :

$$IA_{v} = IA * (\text{volume attaqué} / \text{volume initial de l'échantillon})$$

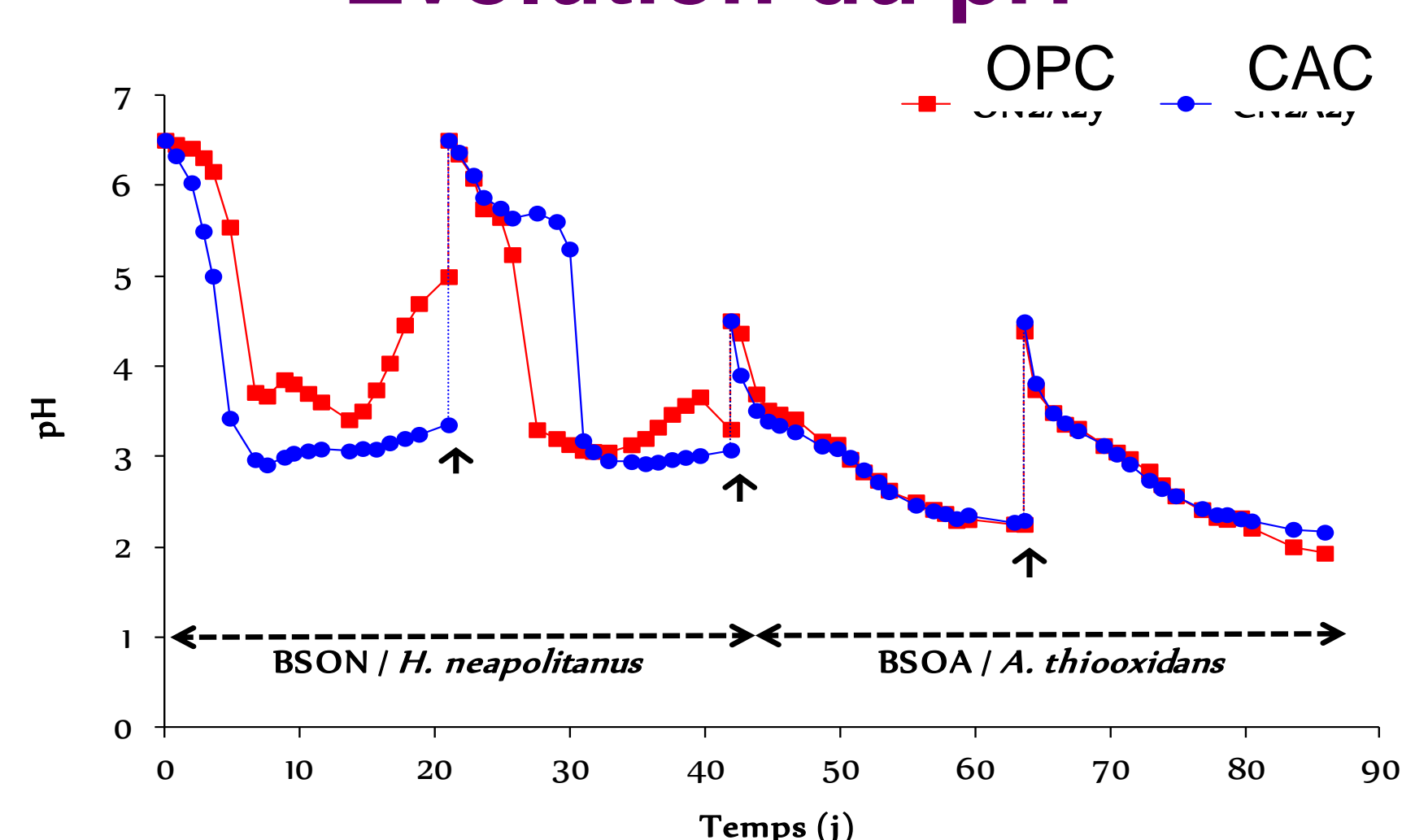
## RESULTATS

### Epaisseur biodétériorée définie par MEB



1,5 mm pour mortier CAC

### Evolution du pH



### Indice d'attaque volumique

Mortier CAC :  $IA_{v} = 24,5$

Mortier OPC :  $IA_{v} = 46,4$

## CONCLUSIONS

- Représentativité de l'essai de biodétérioration par rapport aux résultats obtenus *in situ* (BSON/BSOA) : ciment CAC plus performant que ciment OPC.
- Indice d'attaque volumique : paramètre quantitatif pour discriminer la performance des mortiers.

## PERSPECTIVES

- Mettre les mêmes échantillons de mortier *in situ* pour convertir les différences d'indice d'attaque en différences d'années de service.
- Mieux comprendre l'impact de la minéralogie de la pâte de ciment CAC sur l'activité bactérienne pour concevoir de nouvelles stratégies permettant d'accroître la durabilité des tuyaux des réseaux d'assainissement.

## Objectives

- Carry out numerical simulations of air flow through a pleated filter
  - Validate the calculations by comparing the numerical pressure drop to experimental data
- Compare the local velocity gradients generated by the filter geometry to the filtration velocity generally used to predict particles collection efficiency

## Characterization of the media

### Structural characteristics

- European EN779 standard: G4 type
- Material: cotton and polyester fibers
- Structural parameters:

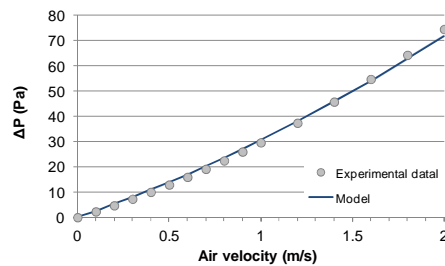
Parameter	Value
Thickness $t$ (mm)	$2.8 \pm 0.7$
Fiber diameter* ( $\mu\text{m}$ )	$13.8 \pm 4.4$
Porosity* (-)	0.92
Media weight ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	$85 \pm 5$

\*Determined by mercury porosimetry



SEM observation of the media

### Pressure drop measurement in flat configuration



Modelling of the pressure drop through the Darcy Forchheimer equation:

$$\frac{\Delta P}{t} = \frac{\mu}{B} \cdot V + \frac{C}{2} \cdot \rho \cdot V^2$$

Viscous resistance  
Permeability:  
 $B = 2.02 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$

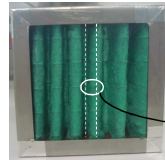
Inertial resistance  
Inertial coefficient:  
 $C = 8.7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1}$

## Numerical study of the air flow at the vicinity of the filter

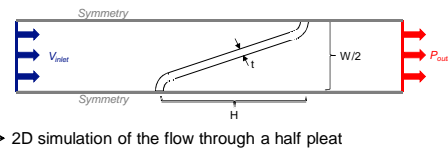
Permeability of the media assumed to be isotropic

### Geometrical dimensions of the filter

- Filtration surface:  $615 \pm 109 \text{ cm}^2$
- Pleats height  $H$ : 40 mm
- Pleats width  $W$ : 23 mm



### The computational domain



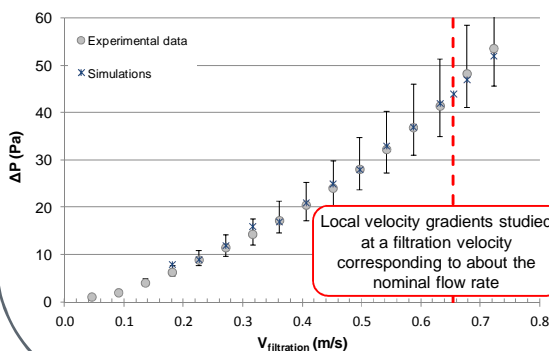
2D simulation of the flow through a half pleat

### Models used

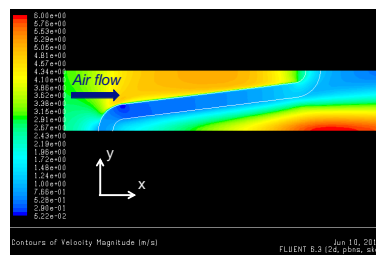
- Air flow: Navier-Stokes equations
- RANS approach: turbulence modelled by the  $k-\epsilon$  model
- Flow through the porous media:  
Darcy-Forchheimer equation with parameters determined experimentally in flat configuration

## Validation of simulations

### Experimental vs. simulated pressure drop generated by the filter

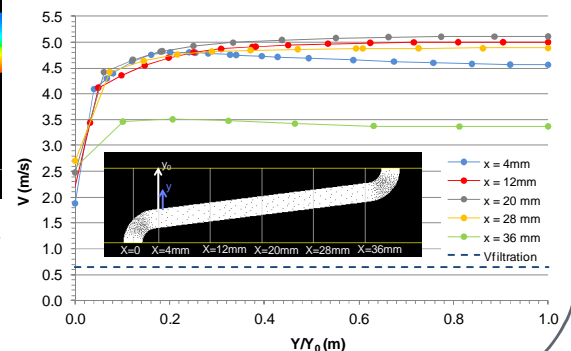


Local velocity gradients studied at a filtration velocity corresponding to about the nominal flow rate



Velocity field at the vicinity of the filter  
 $V_{\text{inlet}} = 2.8 \text{ m/s}$ , i.e.  $V_{\text{filtration}} = 0.65 \text{ m/s}$

### Radial velocity profiles upstream the filter



## Conclusions - Outlooks

- Important local velocity gradients are exhibited by the filter geometry
  - Take them into consideration to calculate local particles collection efficiency at the first stages of filter clogging
- The assumption of isotropic media appears to fit well to such permeable media
  - Address this issue by testing the present methodology to less permeable media

## Parties prenantes



## Contexte & Objectifs

- Individus : **80% du temps en espaces clos** → **Renouvellement de l'air** pour éviter une **dégradation de la QAI**
- Développement des **BBC** avec une **enveloppe de plus en plus étanche**

Problématique : **Transfert de polluants** en zone urbaine → Air extérieur → Air intérieur → Mise en place de **procédés de traitement** au niveau de l'air soufflé (double flux)

**Objectif de la thèse** : Développer un système de **traitement multi-polluants de l'air « neuf »** extérieur qui participe au renouvellement de l'air intérieur dans un bâtiment type **logement individuel**.

Verrous Scientifiques : ■ Interactions **multi-polluants**  
■ Influence du comportement des **micro-organismes** sur les procédés

## Auteurs

Kévin MORISSEAU  
Aurélie JOUBERT  
Yves ANDRES  
Laurence LE COQ

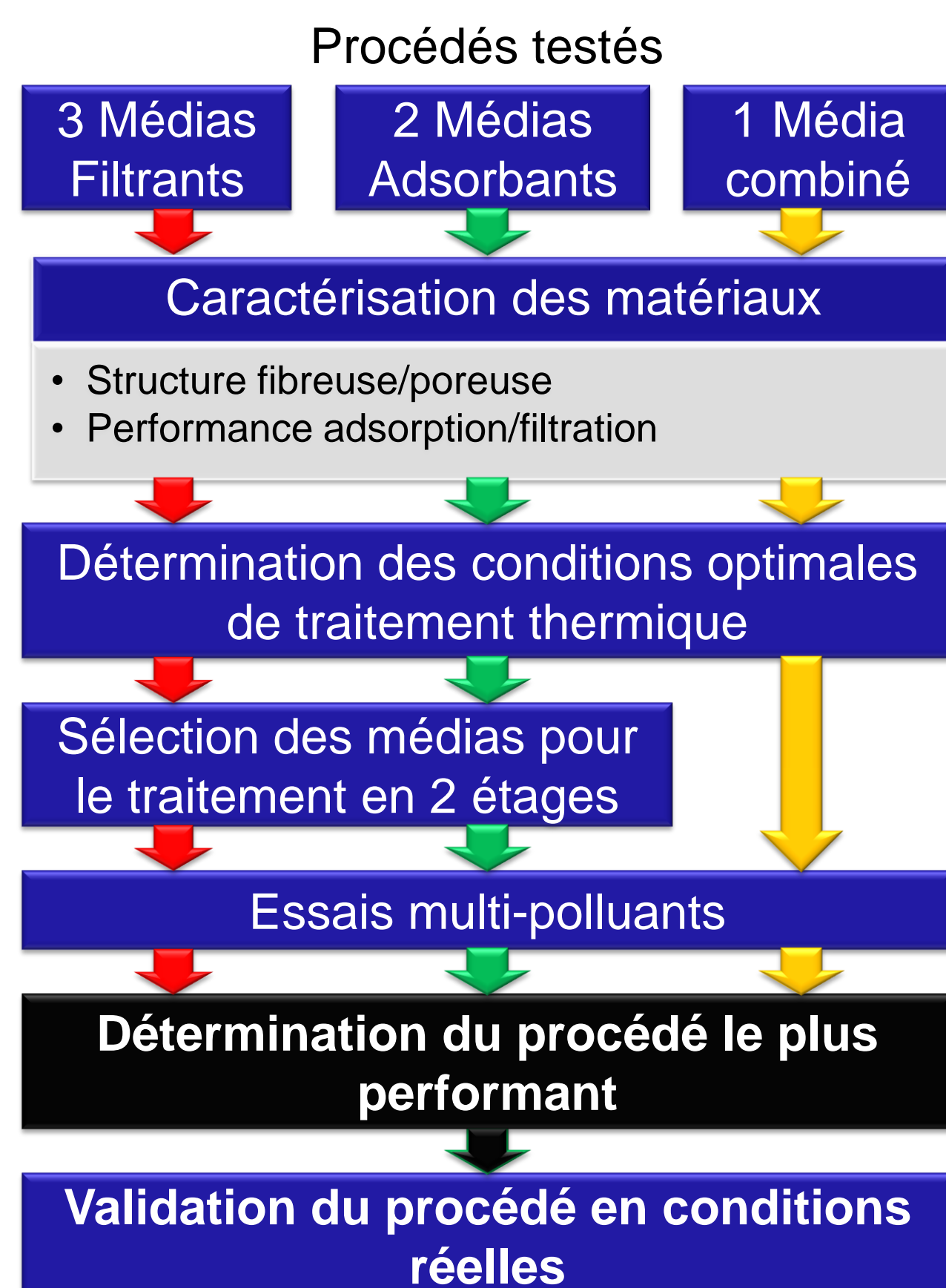
## Méthodologie

Polluants cibles et Procédés utilisés

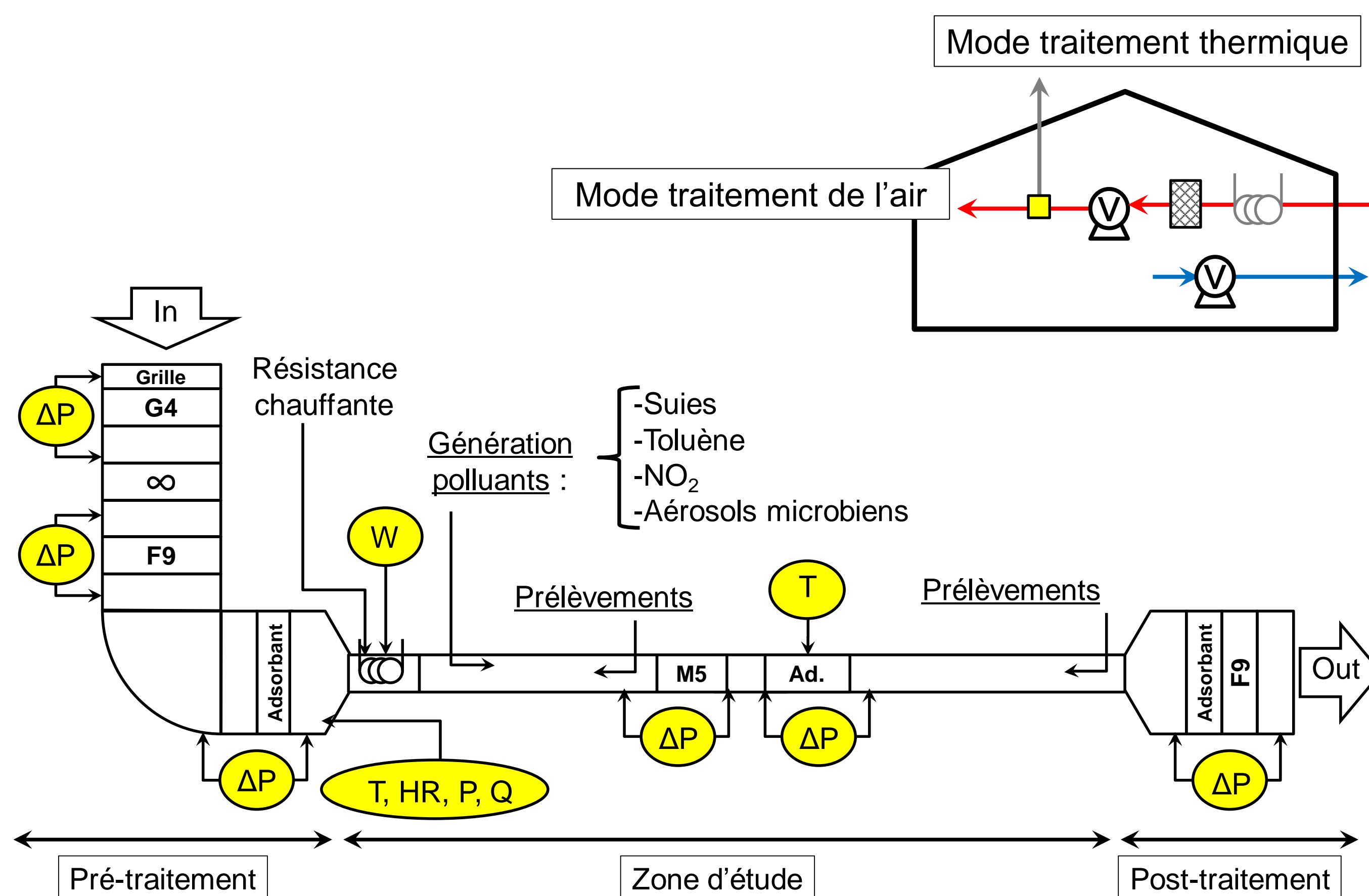
Particules **inertes** et **microbiennes** → **Filtration** par média fibreux  
**BTEX, HAP** et **NOx** → **Adsorption** par charbon actif

Mise en œuvre des procédés

- **Deux étages** de traitement ou **média combiné**
- Traitement par **cycle** avec **by-pass** et **traitement thermique** → **Régénération partielle** de l'adsorbant et **traitement microbien**



Méthodologie expérimentale



Banc d'essais

## Perspectives

**Validation** des performances du **procédé sélectionné en laboratoire** par une campagne de mesures sur une **maison QEI**

→ **Conditions réelles** : nature et concentrations de polluants, humidité et température

→ Suivi des **performances** au cours du temps : **efficacité**, **consommation énergétique** et **durée de vie** (cycle adsorption/désorption)

## Remerciements

Cette étude fait partie du projet TIPEE, lauréat de l'AMI de l'ADEME

## Contexte et objectifs

### Auteurs

E. Dumont

L. Hamon

Y. Andrès

L'UNAM Université, École des Mines de Nantes, CNRS, GEPEA, UMR 6144, Nantes, France

S. Lagadec

P. Landrain

B. Landrain

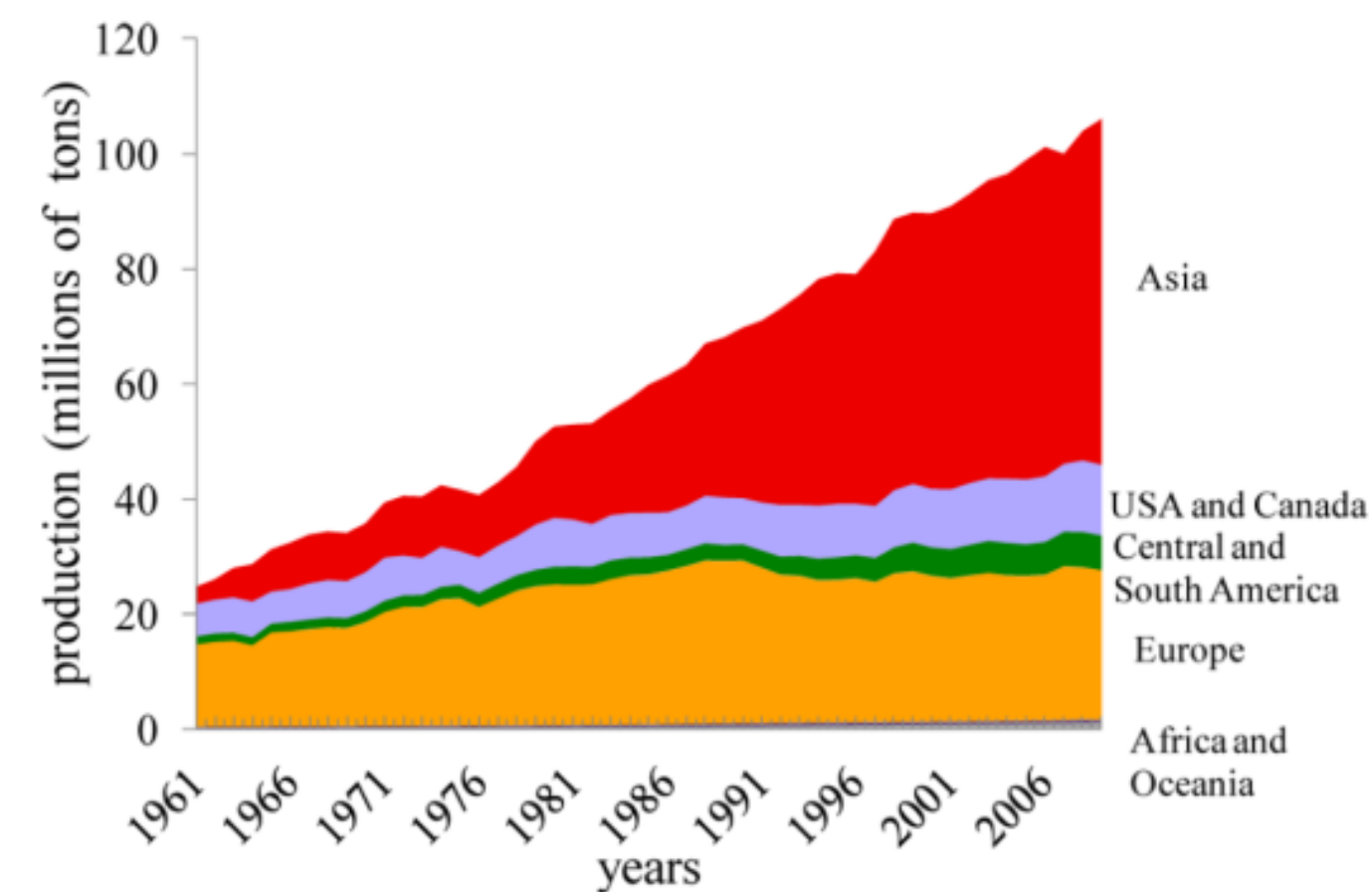
Chambre d'Agriculture de Bretagne, Rennes, France

■ Accroissement de la production mondiale de viande de porc (106 millions de tonnes in 2009, soit x 4 sur les 50 dernières années)

■ Cette production génère de fortes émissions gazeuses (principalement NH<sub>3</sub>) qu'il convient de traiter

■ Le procédé de traitement (biofiltration) doit être :

- simple
- robuste
- économique
- compact
- à maintenance réduite



## Site étudié : station porcine de Guernévez (29)



■ 36 porcs sur caillebotis

■ T<sub>air</sub> : 26 ° C

■ [NH<sub>3</sub>] : de 10 à 20 mg/m<sup>3</sup>

■ [Poussières] : 2 mg/m<sup>3</sup>



## Biofiltre

■ Biofiltre hors sol (0,45 m x 0,45 m) Sans arrosage

■ Matériau : plaquettes de bois (hauteur : 50 cm)

■ Temps de séjour : EBRT = 15, 12 et 6 s

$$LR = \frac{[NH_3]_{in} Q_{air}}{V_{bed}}$$

$$RE = \frac{[NH_3]_{in} - [NH_3]_{out}}{[NH_3]_{in}}$$

$$EBRT = \frac{V_{bed}}{Q_{air}}$$



## Principales observations

■ EBRT = 12 s (juin – juillet)

- Températures extérieures < température porcherie (26° C)

- RE > 90% (traitement efficace)

- Humidité du matériau optimale

- LR autour de 4 g.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>

- ΔP autour de 90 Pa/m

■ Épisodes de temps sec et chaud (fin juillet et mi-août)

- Température biofiltre > température porcherie (26 ° C)

- Baisse de l'humidité relative de l'air

- Baisse de la ΔP (autour de 45 Pa/m)

- Séchage du matériau

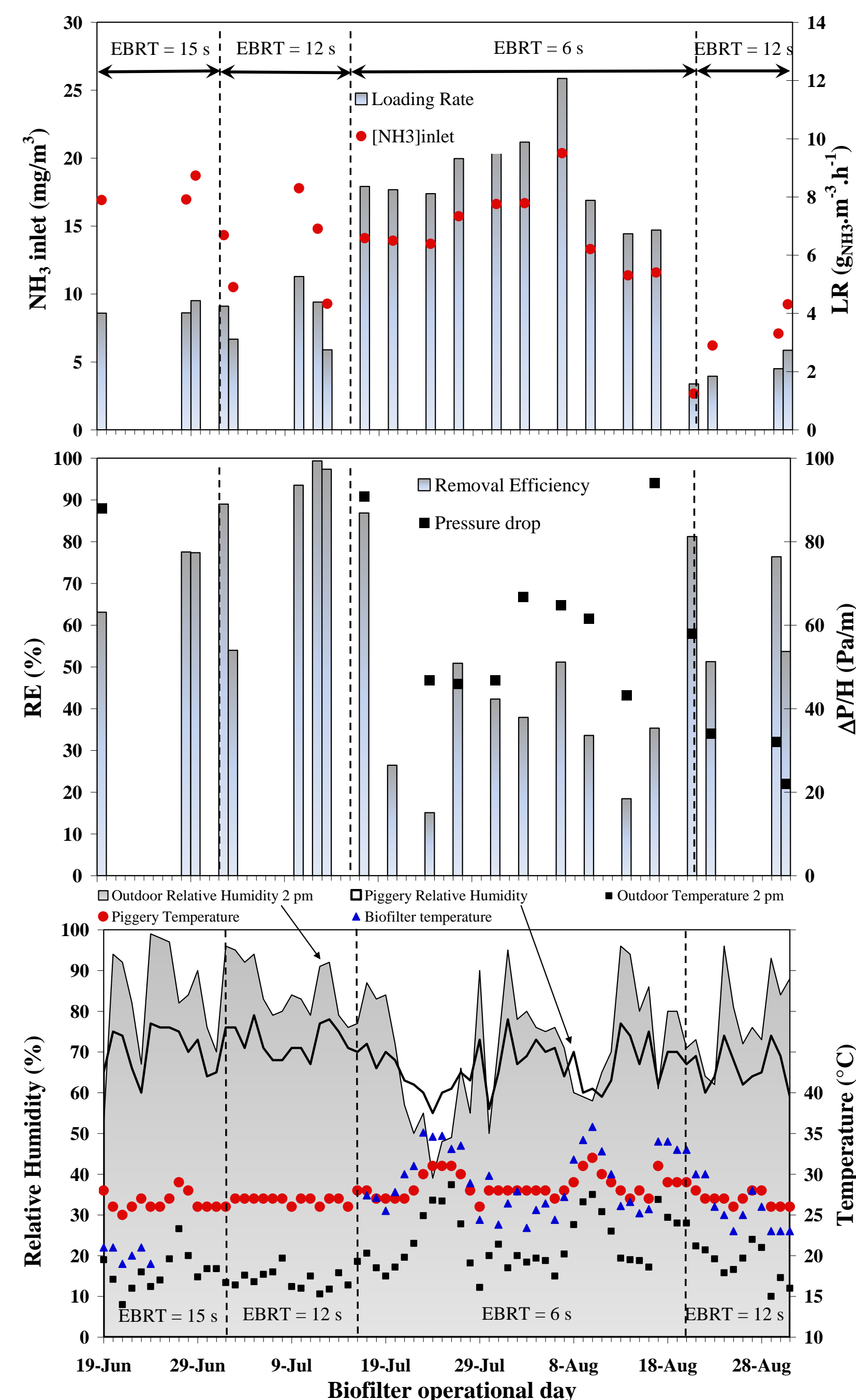
- Chute de l'efficacité

## Conclusions

■ La biofiltration est une technique efficace pour le traitement de NH<sub>3</sub> (même à temps de séjours faibles)

■ Toutefois les performances sont sensibles aux conditions météorologiques

■ Un système d'humidification est donc à prévoir, limitant les aspects simplicité et robustesse du procédé et obérant les coûts de maintenance



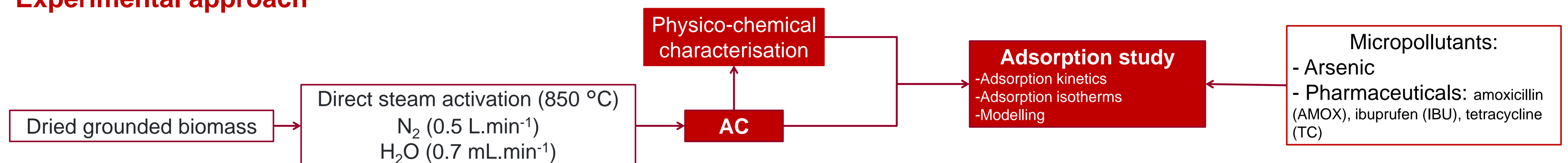
## Main objectives of this work

- Production of activated carbons(AC) based on local resources at laboratory scale, including mass and energy balances
- Use of these new AC for micro-pollutants removal

## Context

- Recycling of residues, waste from agriculture or biomass locally produced
- Thermo-chemical conversion into sustainable AC by direct physical activation (only one temperature ramp, no chemicals added excepted steam)
- Generating experimental data on the adsorption of micro-pollutants onto such AC

## Experimental approach



Biomass (origin)	Name of AC	Mass Yields (%)
Sugar beet pulp (France)	BP-H2O	16
Peanut hull (Mexico)	PH-H2O	24
Pinus wood (France)	PW-H2O	19
Mango pit (Colombia)	MP-H2O	12
Pineapple peel (Colombia)	PP-H2O	20
Mil stacks (Senegal)	MS-H2O	12
Cashew nut shell (Senegal)	CS-H2O	15
Rice husk (Senegal)	RH-H2O	32

- mass yields ranged between 12 to 24 %, depending of the precursors
- case of rice husk : high yield due to high mineral content suggesting low AC properties

## Energy and mass balances obtained for AC production

Parameters		MS-H <sub>2</sub> O	CS-H <sub>2</sub> O	RH-H <sub>2</sub> O
Low heating value (MJ.kg <sup>-1</sup> )	Oil	25	36	16
	Gas	8	8	6
	Activated carbon	31	30	13
Mass balance (%)	Oil	11	40	8
	Gas	76	47	47
	Activated carbon	12	15	32

- Very good LHV of oil (36 MJ.kg<sup>-1</sup>) generated during CS-H<sub>2</sub>O production
- LHV of the gas phases similar to syngas of gasification
- Mass balances completed
- Low interest of rice husk regarding the energy values of the by-products

## Physical and chemical characterisation of AC

AC	S <sub>BET</sub> m <sup>2</sup> /g	V <sub>micro</sub> cm <sup>3</sup> /g	V <sub>meso</sub> cm <sup>3</sup> /g	V <sub>pT</sub> cm <sup>3</sup> /g	C Mass %	O Mass %	Ash %	pH <sub>pzc</sub>	Ca Mass %	Fe Mass %	K Mass %	Mg Mass %	Si Mass %
BP-H2O	821	0.348	0.361	0.643	78	7	14	9.8	nr	0.1	nr	nr	nr
PH-H2O	829	0.355	0.070	0.403	91	6	1.3	9.8	nr	-	nr	nr	nr
PW-H2O	665	0.286	0.072	0.336	92	-	0.8	6.0	nr	nr	nr	nr	nr
MP-H2O	1019	0.419	0.099	0.579	92	0.8	5.4	8.0	2.43	0.03	0.2	-	0.31
PP-H2O	929	0.387	0.068	0.493	89	2	16	8.0	1.25	0.19	0.58	-	3.44
MS-H2O	1324	0.588	0.033	0.665	86	12	0.1	8.0	0.02	-	-	-	0.01
CS-H2O	942	0.416	0.045	0.504	71	21	6.5	10.6	0.94	0.06	0.59	1.65	1.83
RH-H2O	384	0.168	0.057	0.257	37	3.4	59	8.5	1.27	0.33	4.63	-	47
GAC1	1155	0.470	0.030	0.550	90	9	0.4	8	0.14	0.02	0.09	-	-

GAC1: commercial granular AC from coconut and steam activated nr : not realised

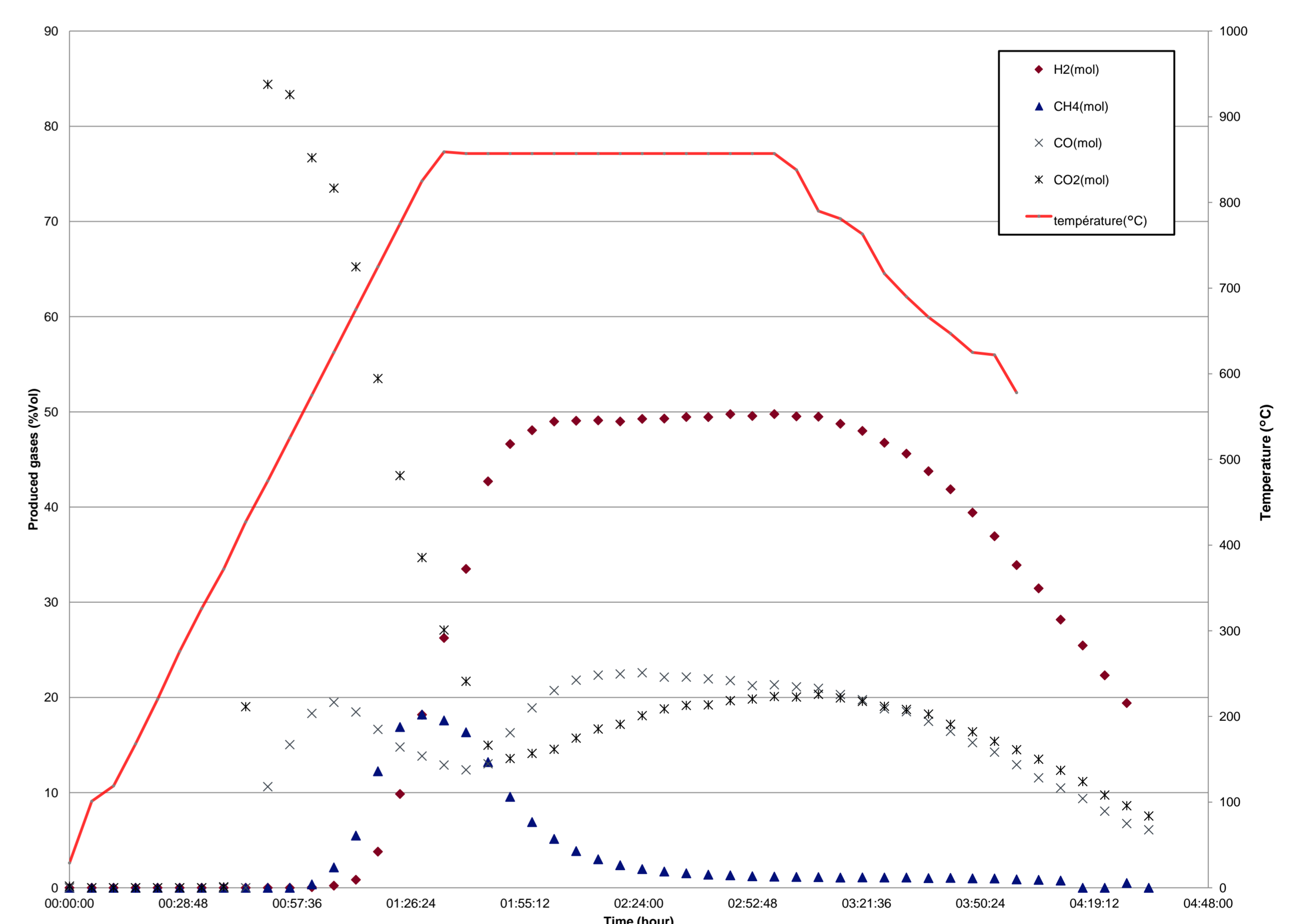
- In terms of porosity, most of the BET surface areas ranged between 800 and 1300 m<sup>2</sup>/g, highly microporous
- Very good carbon contents and presence of mineral element depending on the precursors
- Case of rice husk : very low porosity and carbon content, not a conventional AC

## Adsorption capacities (in ultrapure water)

Pollutant	AC	Langmuir model		
		q <sub>m</sub> (mg/g)	b (L/mg)	r <sup>2</sup>
AsV	BP-H2O	0.7	0.66	0.968
	PH-H2O	2.8	0.66	0.993
	GAC1	1.2	14.54	0.968
AMOX	PP-H2O	79	0.04	0.968
	MP-H2O	205	0.08	0.976
	GAC1	141	0.19	0.976
IBU	PP-H2O	151	0.02	0.934
	MP-H2O	185	0.04	0.936
	GAC1	322	0.01	0.970
TC	BP-H2O	288	0.21	1.000
	PH-H2O	28	1.54	0.985
	PP-H2O	46	0.04	0.726
	MP-H2O	115	1.55	0.816
	GAC1	132	0.06	0.972

- for a couple AC/pollutant, q<sub>m</sub> values are sometimes higher than those obtained with a commercial GAC: PH-H2O for As adsorption, MP-H2O for AMOX, BP-H2O for TC
- in natural water, some performances are conserved (see poster n° 168)

## Main components in the gas phase during CS-H<sub>2</sub>O production



- At 850 °C (activation step), H<sub>2</sub> production reaches almost 50 % of produced gases, and methane production close to 20 %
- Similar gaseous profiles obtained for all the tested biomass, close to the composition of syngas and can be considered as alternative fuels

## Auteurs

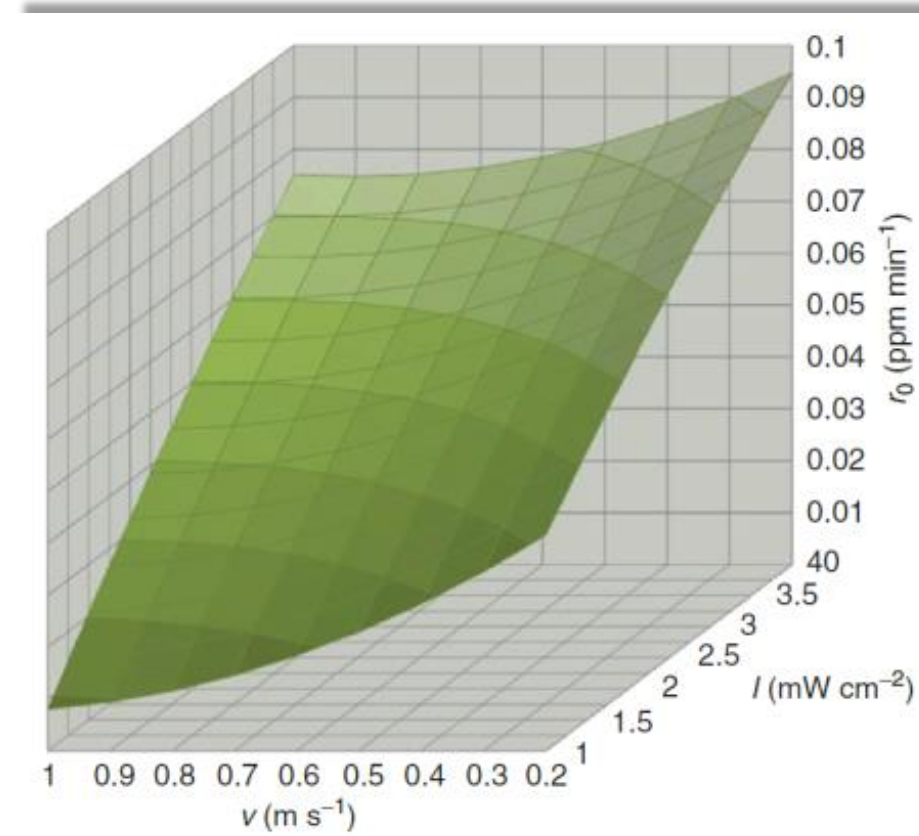
V. Héquet<sup>1</sup>, L. Olivier<sup>1,2</sup>  
 F. Batault<sup>1,2</sup>, O. Debono<sup>1,2</sup>  
 A. Subrenat<sup>1</sup>, C. Raillard<sup>1</sup>  
 F. Thévenet<sup>2</sup>, L. Le Coq<sup>1</sup>  
 N. Locoge<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mines Nantes, GEPEA  
 UMR CNRS 6144, Nantes,  
 France

<sup>2</sup> Mines Douai, SAGE,  
 Douai, France

## Contexte and objectives

- Indoor air quality: hundreds of different pollutants identified in the air of common buildings such as dwellings, offices, schools
- VOCs: the most important indoor gaseous pollutants, concentration range 1 – 1000 ppb
- Photocatalytic oxidation (PCO) of VOCs, a promising technique to perform indoor air purification
- Needs to evaluate the influence of operating parameters on the efficiency of PCO: UV light intensity, air flow rate, contact time
- Objectives of the present work: to assess the impact of the photocatalytic media geometry on the contact time during PCO



## Experimental setup and methodology

### I-Photocatalytic reactor

Experimental conditions :  
 Room temperature, 50% RH  
 $I = 0.1$  to  $0.6 \text{ mW/cm}^2$   
 VOC toluene [50] to [600] ppb

### II-Photocatalytic medium

Medium provided by Ahlstrom Group  
 Polymer fibers covered 50%  $\text{SiO}_2$  and 50%  $\text{P25 TiO}_2$

Characterization :  
 °  $60 \text{ g.m}^{-2}$ ,  $250 \text{ μm}$  thick,  
 global BET sa :  $31 \pm 0.5 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$   
 ° porous volume :  $3.1 \pm 0.1 \text{ cm}^3.\text{g}^{-1}$

### III-Module geometry

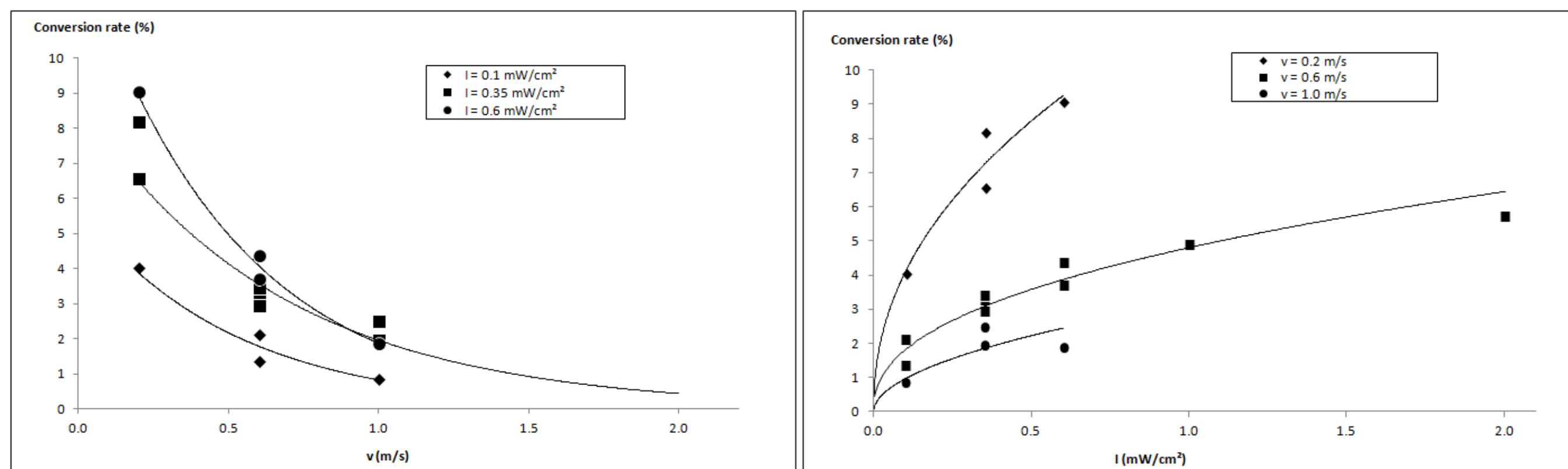
Methodology : influence of the medium geometry (contact time) using the same average UV irradiance and at the same flow rate. Comparison of the toluene removal kinetic data

## Partenaires



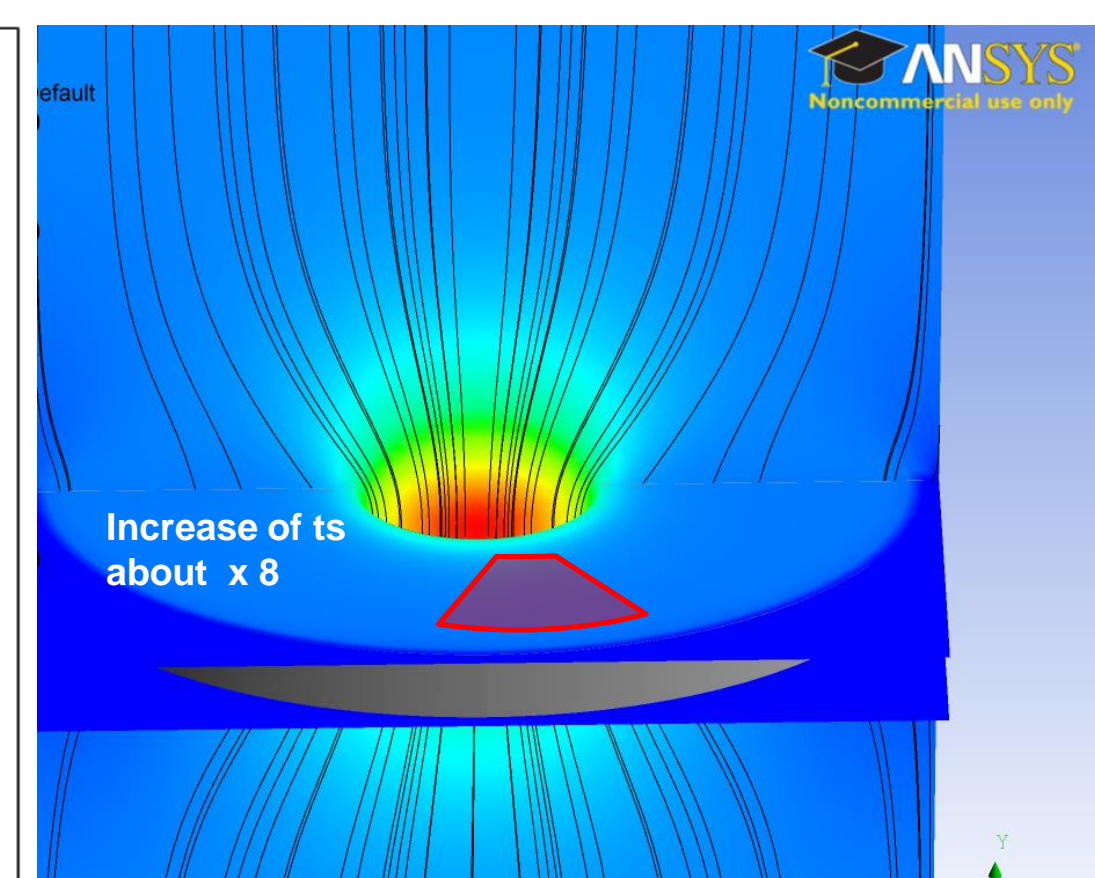
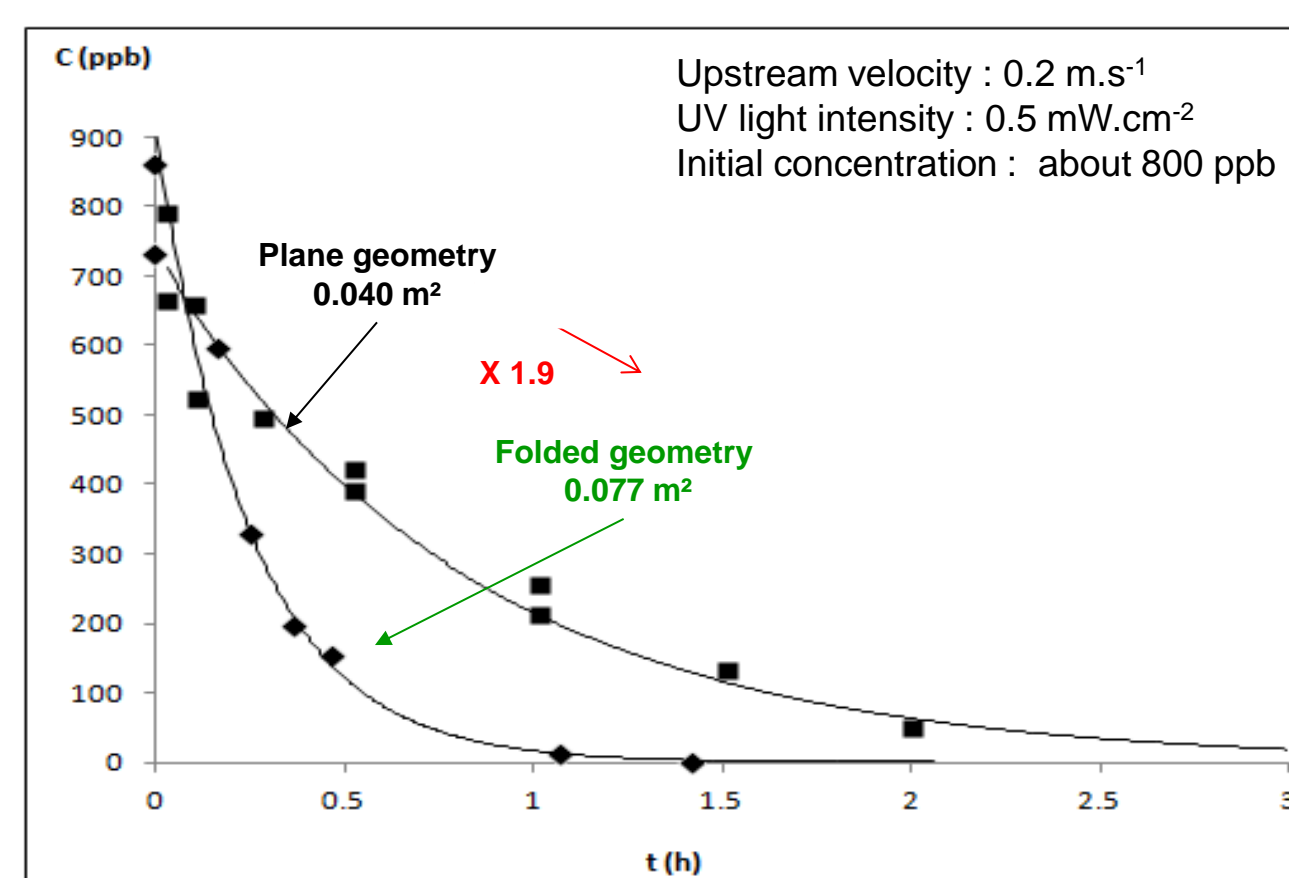
## Experimental results and simulation

### I- Parameters cross-influence



- Air flow rate related to mean upstream velocity ( $v$ )
- When  $v$  decreases: limitation of mass transfer but increase of contact time and conversion rate
- Conversion rate increases with light intensity in accordance with previous works

### II- Geometry influence and calculation of the residence time



## Conclusion & Perspectives

- PCO efficiency 70% higher with folder geometry due to the increased contact time
- Confirmation of the increase of contact time with CFD simulation
- Further works: simulations including irradiation and diffusion on the surface and through the media
- Experimental results with other geometries to confirm the improvement of efficiency

## Auteurs

V. Héquet<sup>1</sup>  
V. Maroga Mboula<sup>1</sup>,  
Y. Andrès<sup>1</sup>,  
J.M. Doña-Rodríguez<sup>2</sup>  
P. Falaras<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mines Nantes, GEPEA  
UMR CNRS 6144, Nantes,  
France

<sup>2</sup> FEAM-Universidad de Las  
Palmas de Gran Canaria,  
Las Palmas, Spain

<sup>3</sup> National Center for  
Scientific Research  
Demokritos, Athens,  
Greece

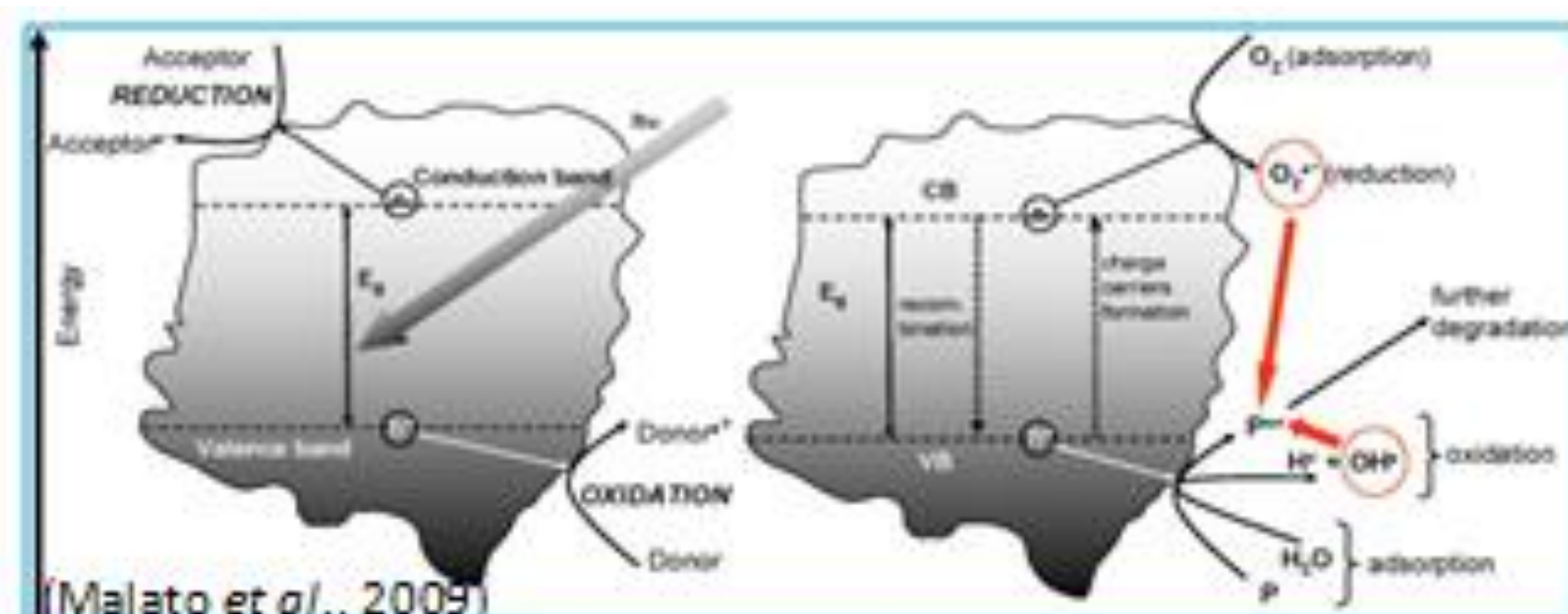
## Contexte and objectives

- The world is facing formidable challenges in meeting rising demand of clean water. In addition, the presence of endocrine disrupting compounds (EDCs), and among them natural estrogens, in water resources used for the production of drinking water has come under greater scrutiny in recent years. Advanced oxidation processes (AOPs) have shown to be efficient alternative methods for the removal of recalcitrant compounds in water. Heterogeneous photocatalysis processes are of special interest since sunlight can be used as irradiation source.
- Clean Water is a project which acts to develop innovative nanostructured photocatalysts for water treatment and detoxification under visible light. This part of the work, related to one Work Package of the collaborative project, presents the evaluation of photocatalysts efficiency including the estrogenic activity.

## Experimental setup and methodology

Clean Water partners' nanomaterials are tested under UV and UV-visible light for the degradation of 17 $\beta$ -estradiol (E2). The main by-products are identified and endocrine disruption are compared to the effect of parents compounds.

## I- Photocatalytic degradation under UV part (280 - 400 nm) and full spectrum of simulated solar light



Irradiation conditions (xenon lamp)

$I = 2.35 \text{ mW/cm}^2$  in UV  
 $I = 1.85 \text{ mW/cm}^2$  in UV-visible at  $\lambda = 365 \text{ nm}$   
280 - 400 nm:  $E_p = 1.45 \cdot 10^{-7} \text{ Einstein/s}$   
200 nm - 30  $\mu\text{m}$ :  $E_p = 1.16 \cdot 10^{-6} \text{ Einstein/s}$

Degradation monitored with  
HPLC/UV and TOC analysis by-  
products identified with LC/MS-MS

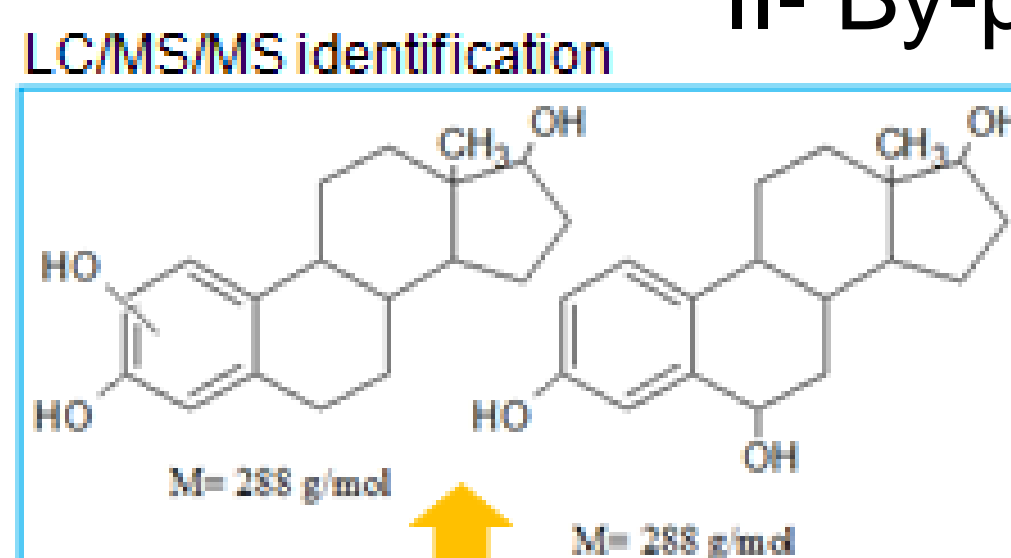
Photocatalytic materials:  
• N-doped TiO<sub>2</sub> catalysts  
(NCSR, Greece)  
• Non-doped sol-gel based catalysts  
(FEAM, Spain)  
• Graphene-TiO<sub>2</sub> based catalyst  
(LCM, Portugal)



## Partenaires



## II- By-product identification, estrogenic activity assesment



Aromatic rings and phenol groups are still present in the structure of the identified main by-products of 17 $\beta$ -estradiol. Estrogenic effect is suspected to be related to phenol groups (Brzozowski *et al.*, 1997, Birkett et Lester, 2003).  
(LOEC : lower concentration which can induce fry fluorescence)

	P25 + UV light			Non-doped sol-gel + UV light		
	15 min	30 min	180 min	25 min	50 min	240 min
[E2] ( $\mu\text{g/L}$ )	500	253	< LOD	438	255	< LOD
Conversion rate %	54	77	99	51	71	99
Mineralization rate %	27	29	59	14	18	50



Endocrine disrupting effect evaluation  
(WatchFrog company):  
transgenic medaka line fry fluorescence

- ✓ all samples show an estrogenic effect
- ✓ att = 15, 25, 30 and 50 min, [E2] > LOEC E2 (LOEC = 0.17  $\mu\text{g/L}$ )  
→ effect induced by E2
- ✓ att = 15, 30, 50 min, effect more important than at t = 0 min  
→ formation of intermediates with an estrogenic effect
- ✓ att = 180 and 240 min : estrogenic effect still observed but decreasing

The endocrine disrupting effect is not removed for 99% of conversion of 17 $\beta$ -estradiol  
It starts to decrease for a longer time of irradiation

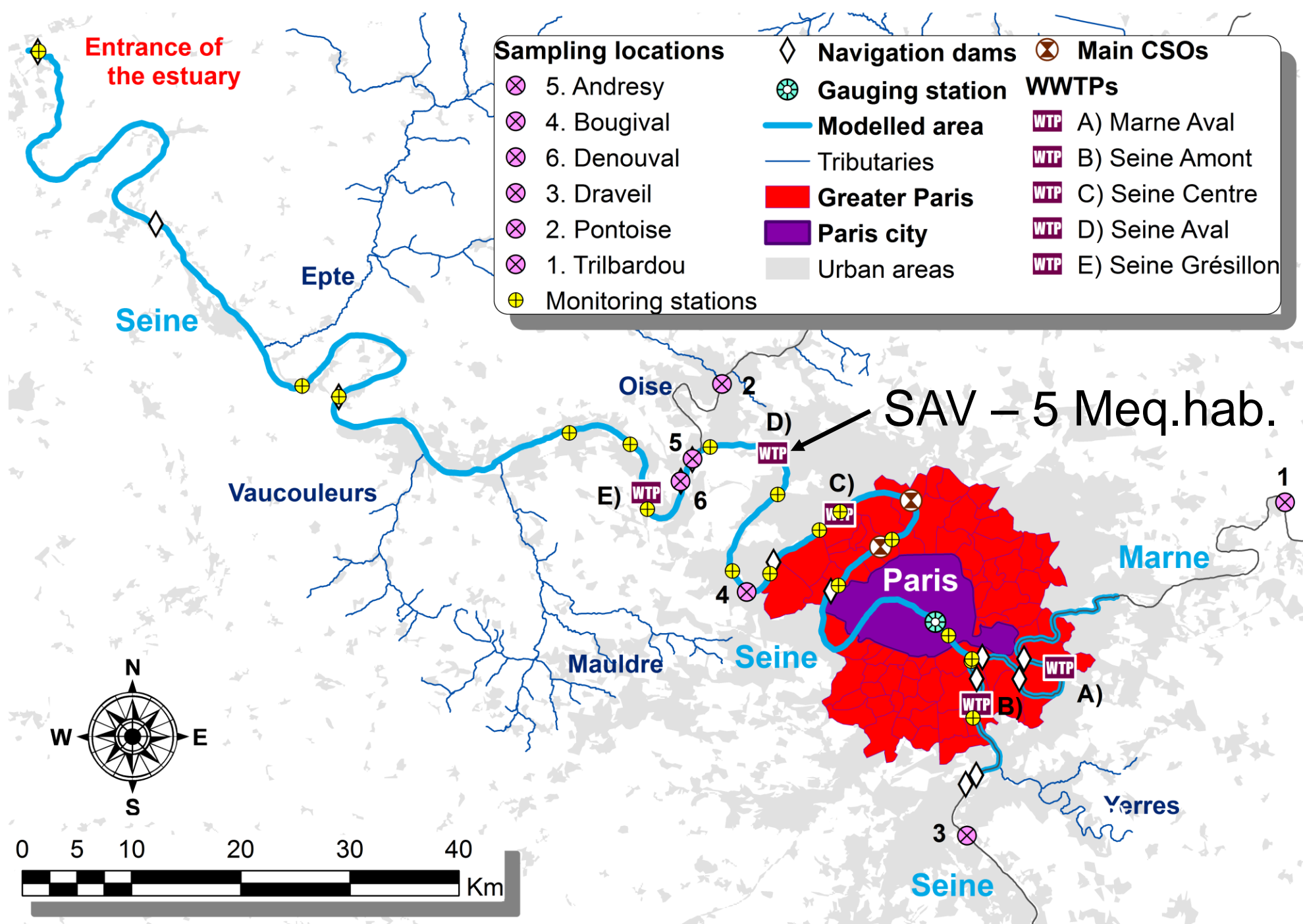
## Conclusions

- The main pathway of degradation leads to intermediates having high estrogenic activity. This result is of special importance as it means that a certain level of mineralization of the initial compound, 17 $\beta$ -estradiol, has to be reached to significantly decrease the estrogenic impact.



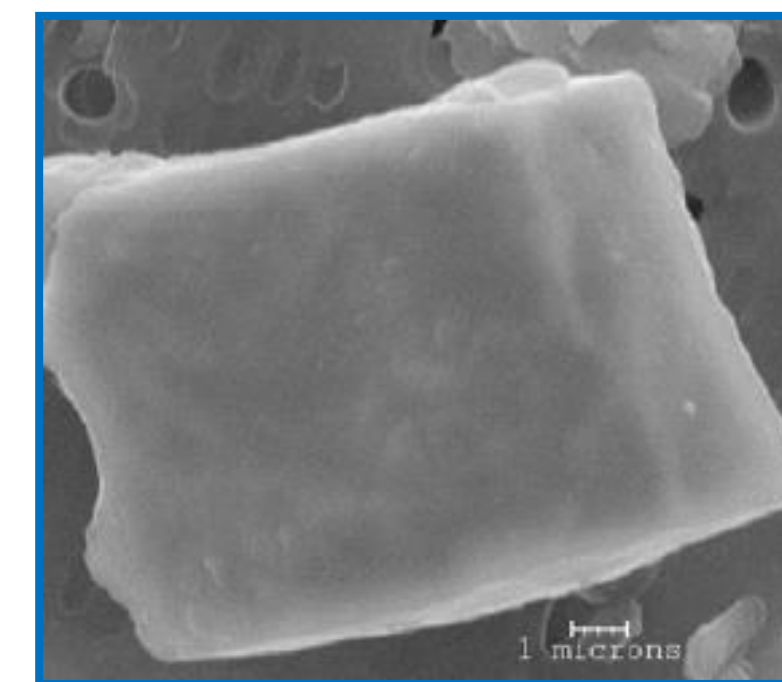
## PROBLÉMATIQUES ET OBJECTIFS

- Enjeu : gestion de l'eau et du territoire
- Quantification de l'influence de l'agglomération parisienne sur les flux de matières en suspension (MES) transitant dans la Seine
- Traçage de l'impact anthropique sur les processus géochimiques



## MES : SUIVI ET ÉCHANTILLONNAGE

- Suivi hebdomadaire des concentrations en MES totales réalisé par le SIAAP en 10 points de mesure
- Prélèvements de MES pour caractériser les sources des particules ferrugineuses :



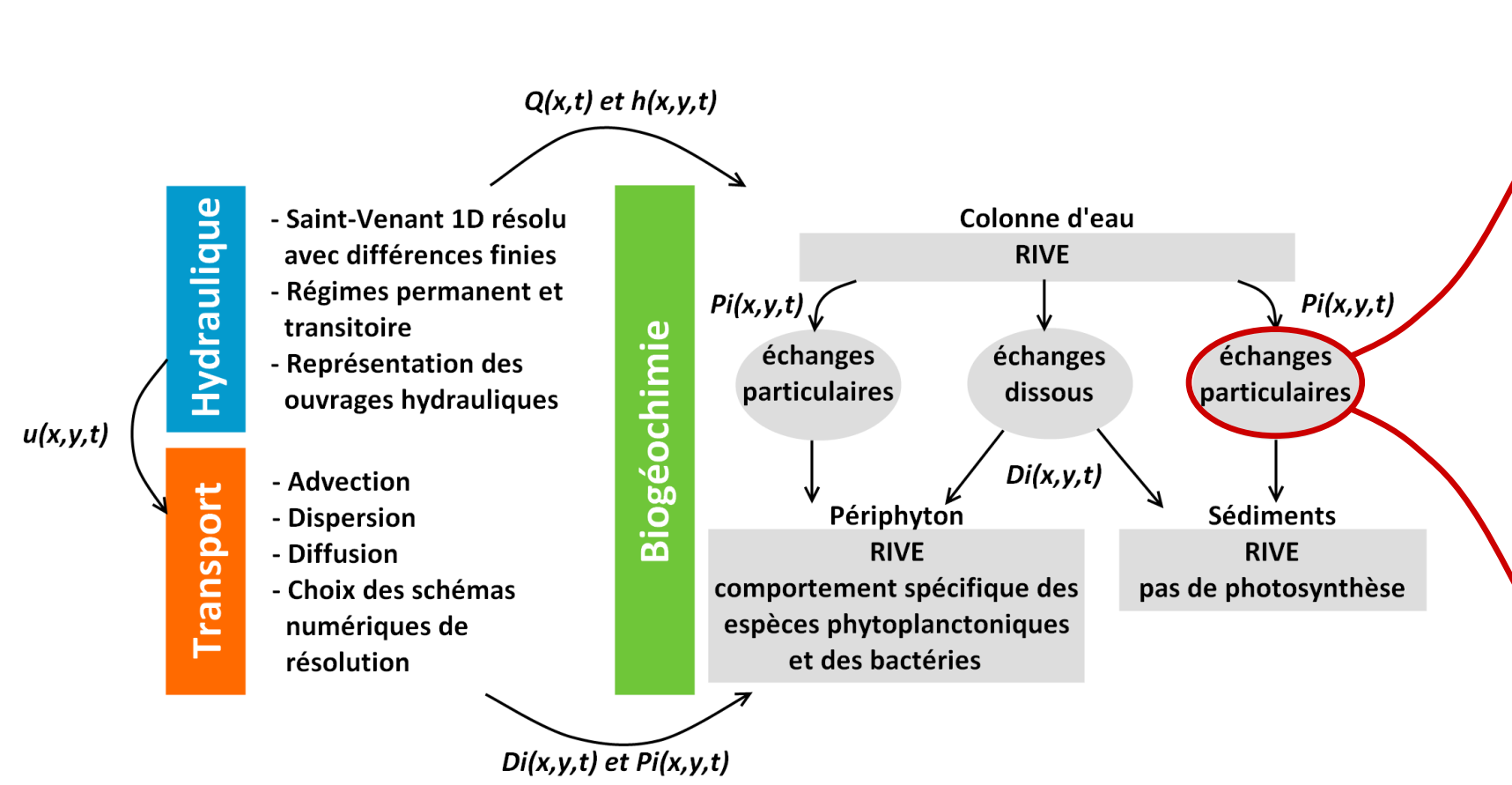
Naturelles



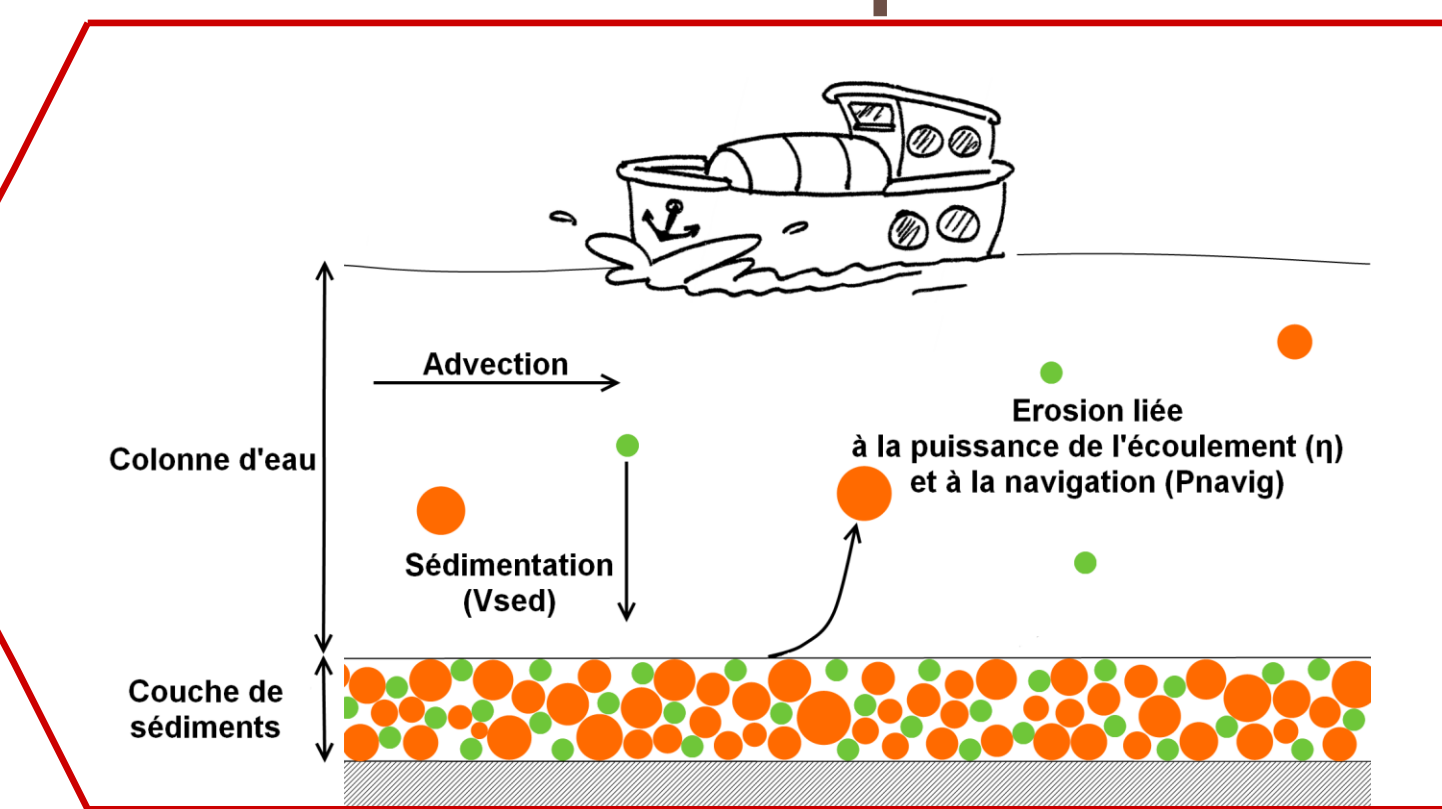
Anthropiques

## MODÉLISATION DES FLUX DE MES

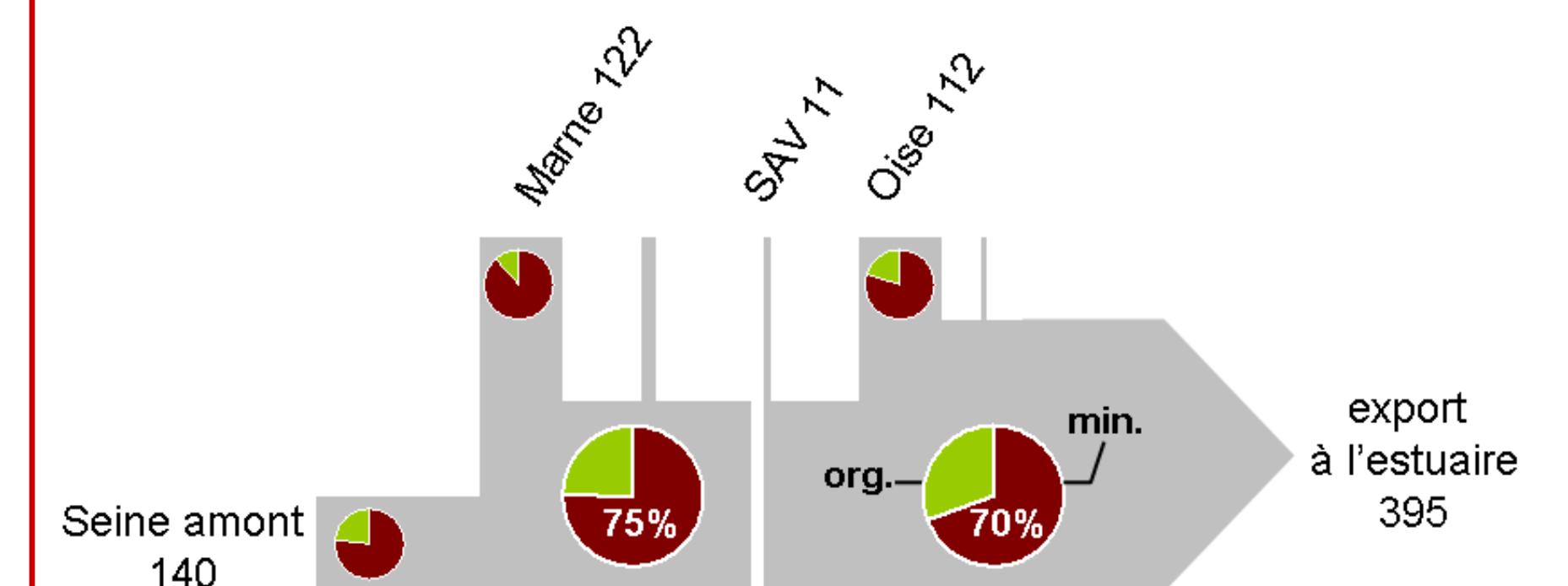
### Le modèle ProSe



### Théorie de la capacité de transport



### Sources et composition des particules (flux en 10<sup>3</sup>.T.an<sup>-1</sup>)



### Parties prenantes



### Auteurs

Dariouche Kayvantash  
Lauriane Vilmin  
Catherine Kissel  
Christine Franke  
Isabelle Cojan  
Chantal de Fouquet  
Michel Poulin  
Nicolas Flipo

### Partenaires

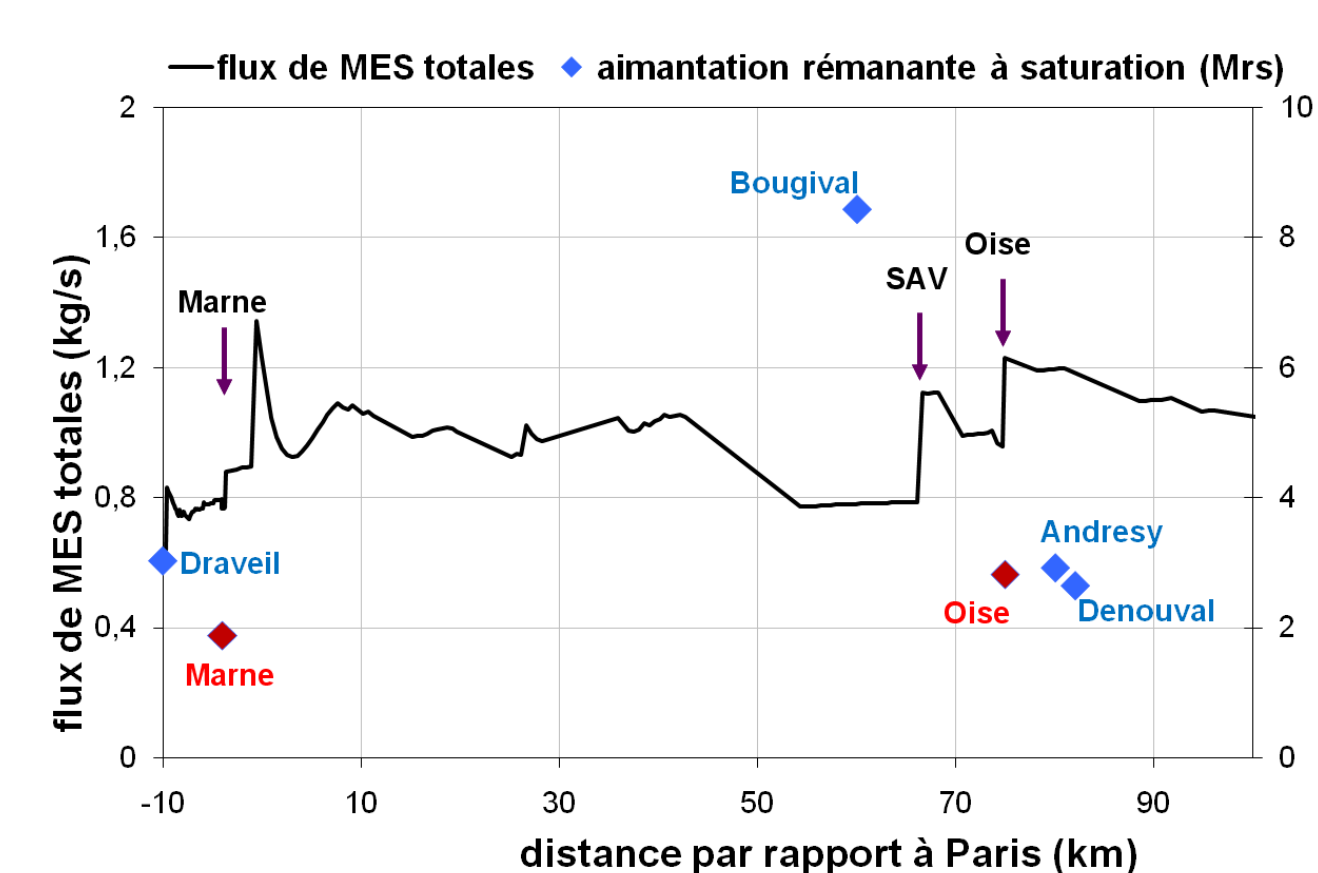
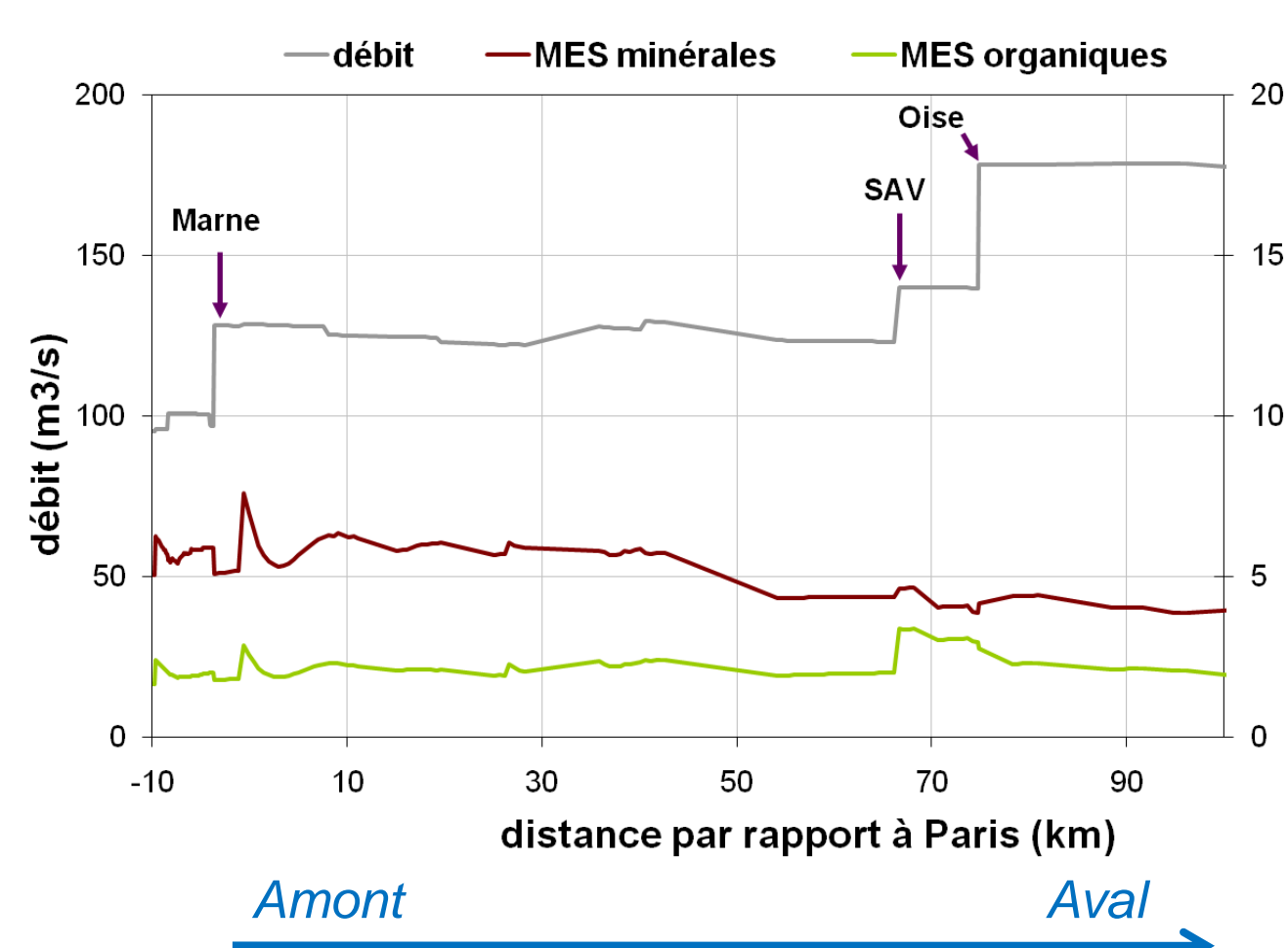


Modélisation 1D des processus hydro-sédimentaires à une résolution spatio-temporelle fine

Bilan pluri-annuel des flux de sédiments en Seine

## RELATION MAGNÉTISME / MES

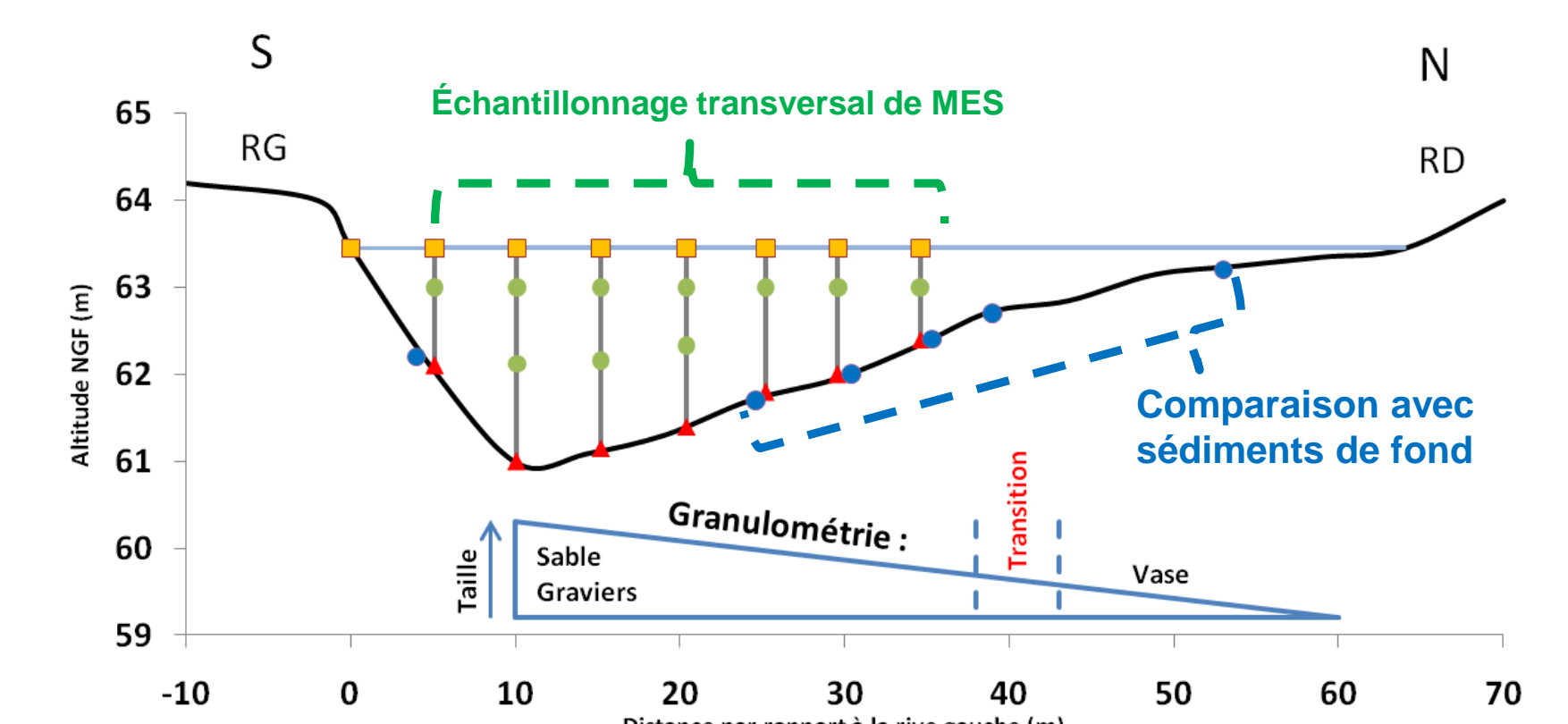
### Campagne basses eaux septembre 2011



- Pas d'effet notable du rejet de SAV sur les flux de MES totales
- Effet de SAV sur la composition des MES en matière organique
- ↓ de la signature magnétique à l'aval de SAV et de la confluence avec l'Oise :  
nécessité d'une mesure de Mrs du rejet
  - Influences SAV et Oise
  - Quantification de l'effet des processus géochimiques en Seine

## PERSPECTIVES

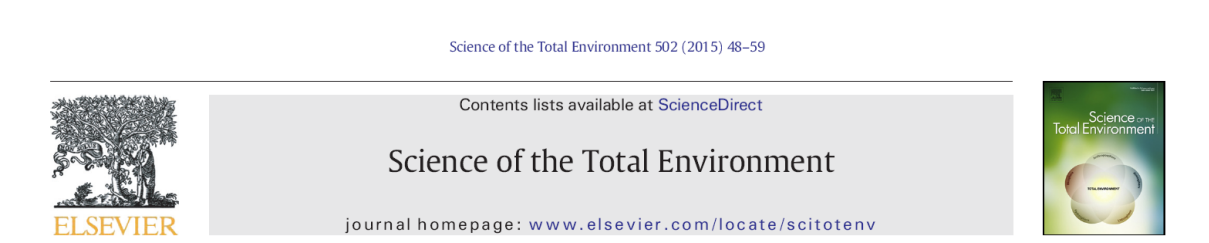
- Étude de la variabilité transversale du magnétisme des particules
- Simulation 2D des champs de vitesse et des flux de particules en Seine
- Implémentation du magnétisme dans ProSe
- Bilan de magnétisme en Seine



POUR EN SAVOIR PLUS...

Contact [dariouche.kayvantash@mines-paristech.fr](mailto:dariouche.kayvantash@mines-paristech.fr)  
[lauriane.vilmin@mines-paristech.fr](mailto:lauriane.vilmin@mines-paristech.fr)

Site web [www.piren-seine.fr](http://www.piren-seine.fr)



Pluri-annual sediment budget in a navigated river system: The Seine River (France)  
Lauriane Vilmin<sup>1,2,3\*</sup>, Nicolas Flipo<sup>4,5\*</sup>, Chantal de Fouquet<sup>6</sup>, Michel Poulin<sup>7</sup>  
<sup>1</sup>UMR 7619 metis, <sup>2</sup>LSCE, <sup>3</sup>CRNE, <sup>4</sup>CRP, <sup>5</sup>CRP, <sup>6</sup>SIAAP, <sup>7</sup>CRP

## Parties prenantes



## Auteurs

Christine Franke (MINES ParisTech)  
Claire Alary (Mines Douai)

## Partenaires

Lucas Barsalini (FIRE)  
Olivier Evrard (LSCE)  
Isabelle Lamy (INRA)  
Folkert van Oort (INRA)  
Julien Thiesson (UMR Métis)

## Partenaires



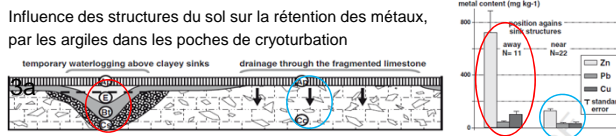
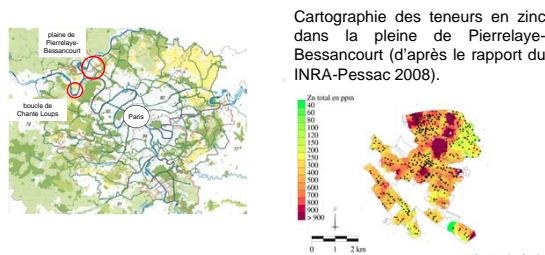
## PROBLÉMATIQUES ET OBJECTIFS

- Enjeux : gestion des sols et des eaux de surface dans un contexte d'aménagement du territoire
- Objectifs : estimation des risques associés aux changements d'occupation des sols pollués et de l'efficacité des dispositifs de lutte contre l'érosion des sols agricoles

## LES CHANTIERS... DEUX LABORATOIRES NATURELS

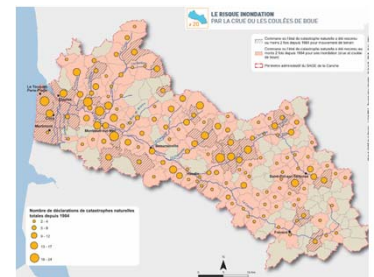
### Valorisation des sols pollués

- Seine périurbaine (Ile-de-France)



### Érosion des sols agricoles

- Canche - Bassin versant (Nord Pas de Calais)

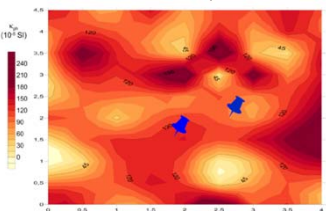


## LE FER - UN TRACEUR DES POLLUTIONS

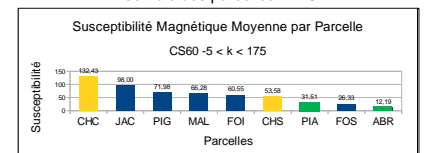
### Cartographie par la susceptibilité magnétique

- La cartographie *in situ* donne une idée quasi immédiate de la concentration métallique, car les valeurs de susceptibilité magnétique sont proportionnelles aux concentrations des oxydes de fer présents dans les ~60cm de la surface
- La comparaison des valeurs moyennes montre de fort contrastes sur le site de Pierrelaye.
  - En jaune - parcelles cultivées
  - En bleu - parcelles en friche, bassin de rétention, forêt
  - En vert - plaine inondation de l'Oise

Sonde CS60, UMR Métis - parcelle 4\*4.5m<sup>2</sup>

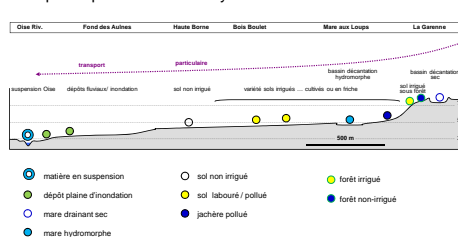


Ensemble des parcelles 4\*4.5m<sup>2</sup>



## TRANSFERTS PAR LES EAUX DE SURFACE

La topo-séquence de Pierrelaye avec les différents milieux



- Érosion des sols agricoles: projet « FluvioMagTrac » Inter-CARNOT focalisé sur le bassin versant de la Canche (collaboration avec les Mines Douai)
- Estimation des transferts des polluants lors des différents phases de mise en valeur (plantations, aménagements...) des sols contaminés (collaboration INRA Pessac et al.) à partir de 2015...

## MODÉLISATION COUPLÉE AGRONOMIE-HYDROGÉOLOGIE À L'ÉCHELLE DU BASSIN SEINE-NORMANDIE

**Objectifs opérationnels** : répondre aux échéances de la DCE<sup>1</sup> (état des lieux, révision du SDAGE<sup>2</sup>)

Parties prenantes

- Évaluer l'état actuel de la contamination nitrique des masses d'eau en compléments des suivis ponctuels du Réseau de Contrôle et de Surveillance (RCS) de l'AESN
- Valider la représentativité du RCS
- Confirmer les objectifs de bon état aux échéances de la DCE en 2015/2021/2027

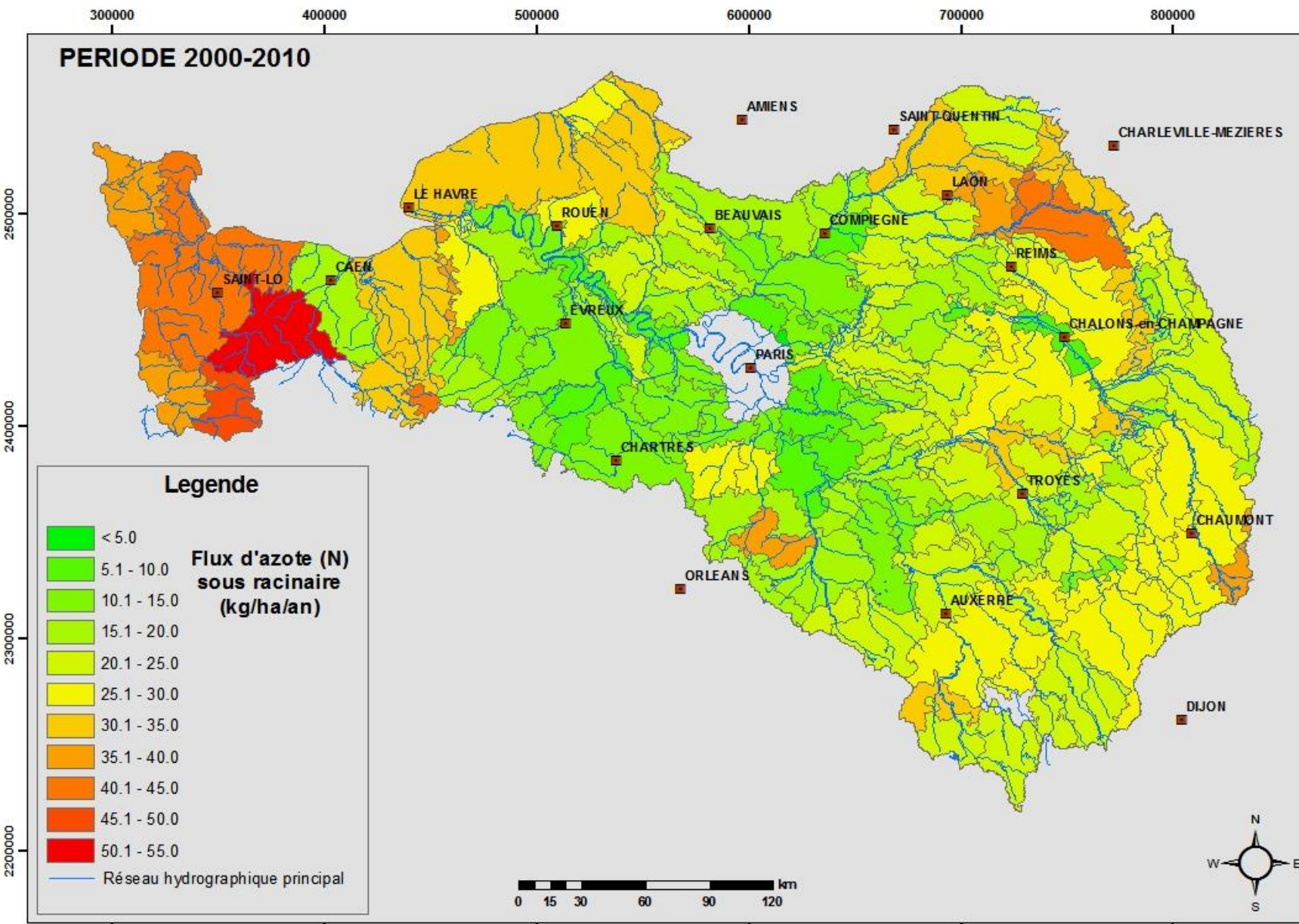
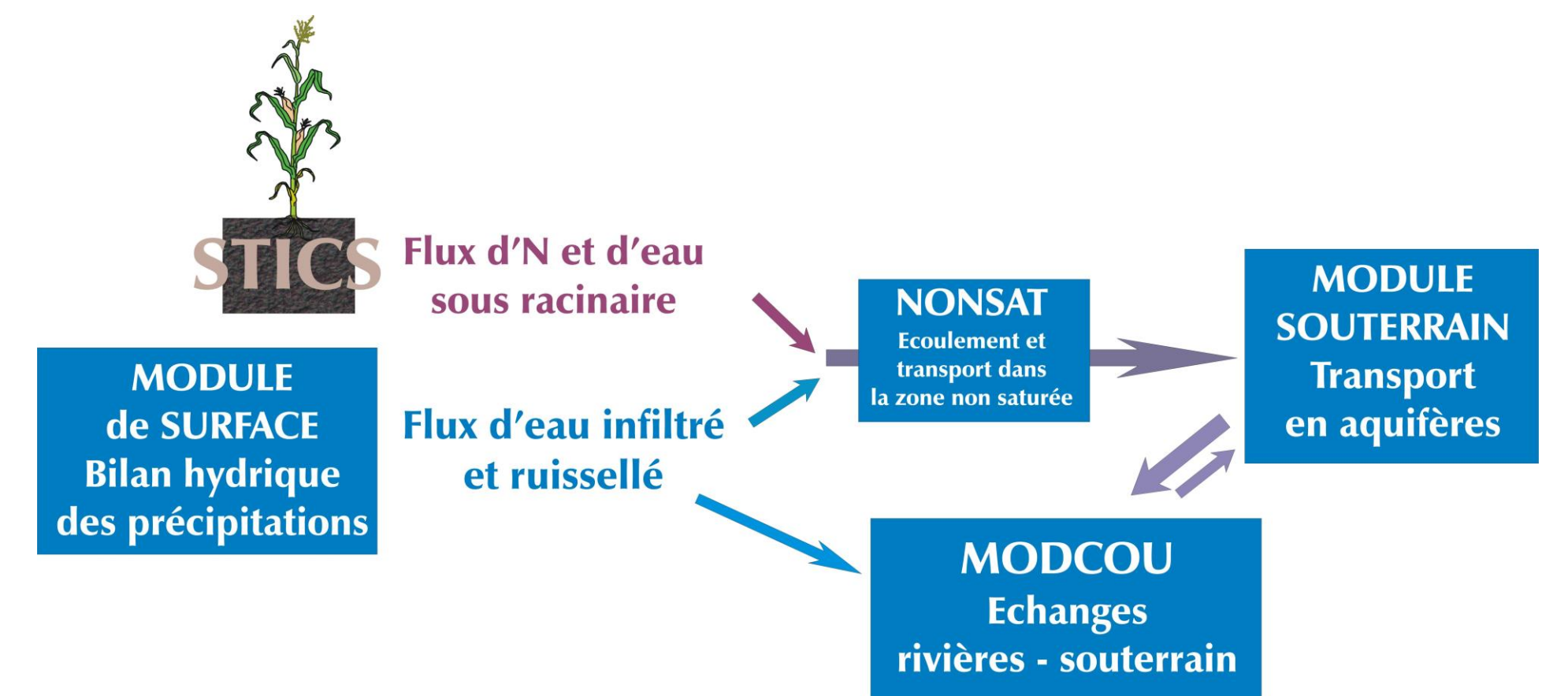


Auteurs

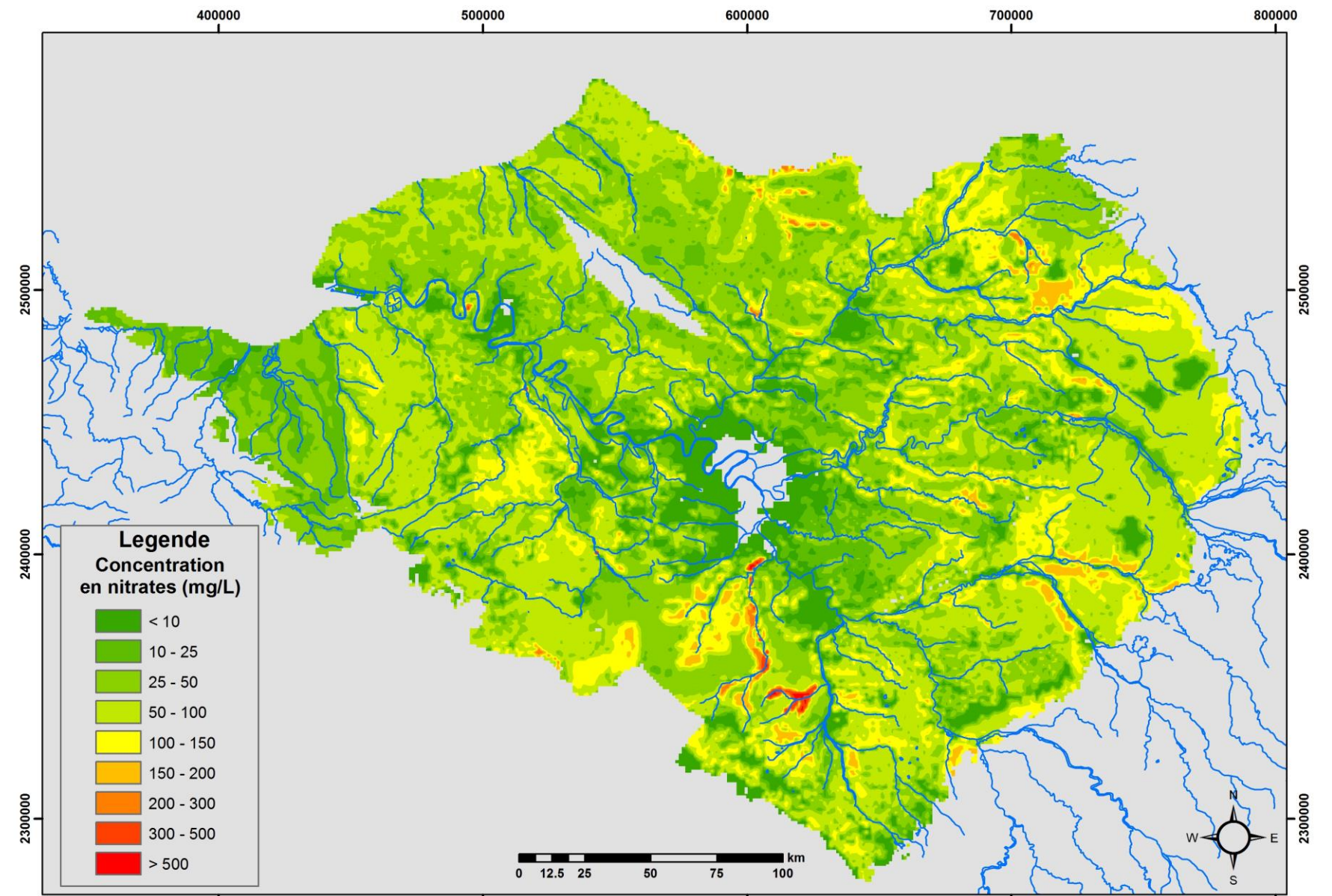
P. VIENNOT, L. ABASQ  
Centre de Géosciences  
Systèmes Hydrologiques et  
Réservoirs  
FONTAINEBLEAU

**Principe général** :

association du modèle agronomique **STICS** (INRA)  
au modèle hydrogéologique **MODCOU** (MINES ParisTech)

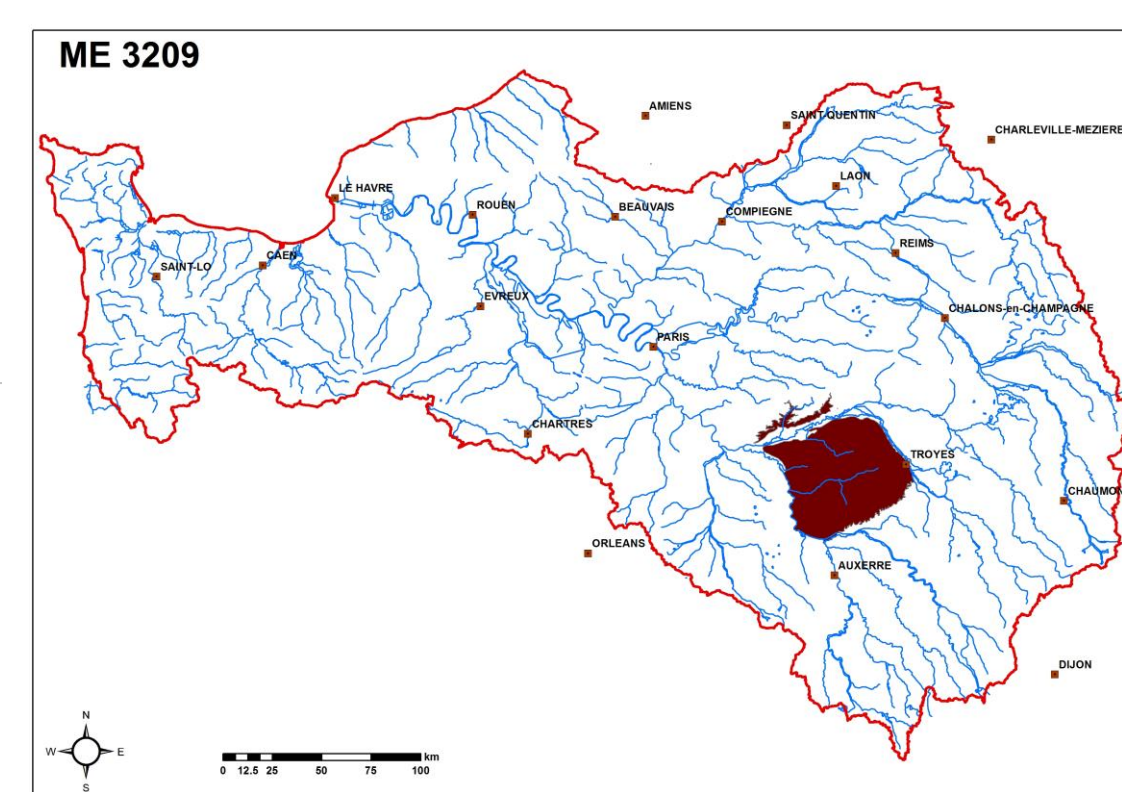


Flux d'azote (N) moyennés par Petite Région Agricole (kg/ha de PRA/an)



Concentrations moyennes infiltrées en nitrates (2000/2010)

## Exemple de compilation des résultats à l'échelle de la masse d'eau H209 (3209)

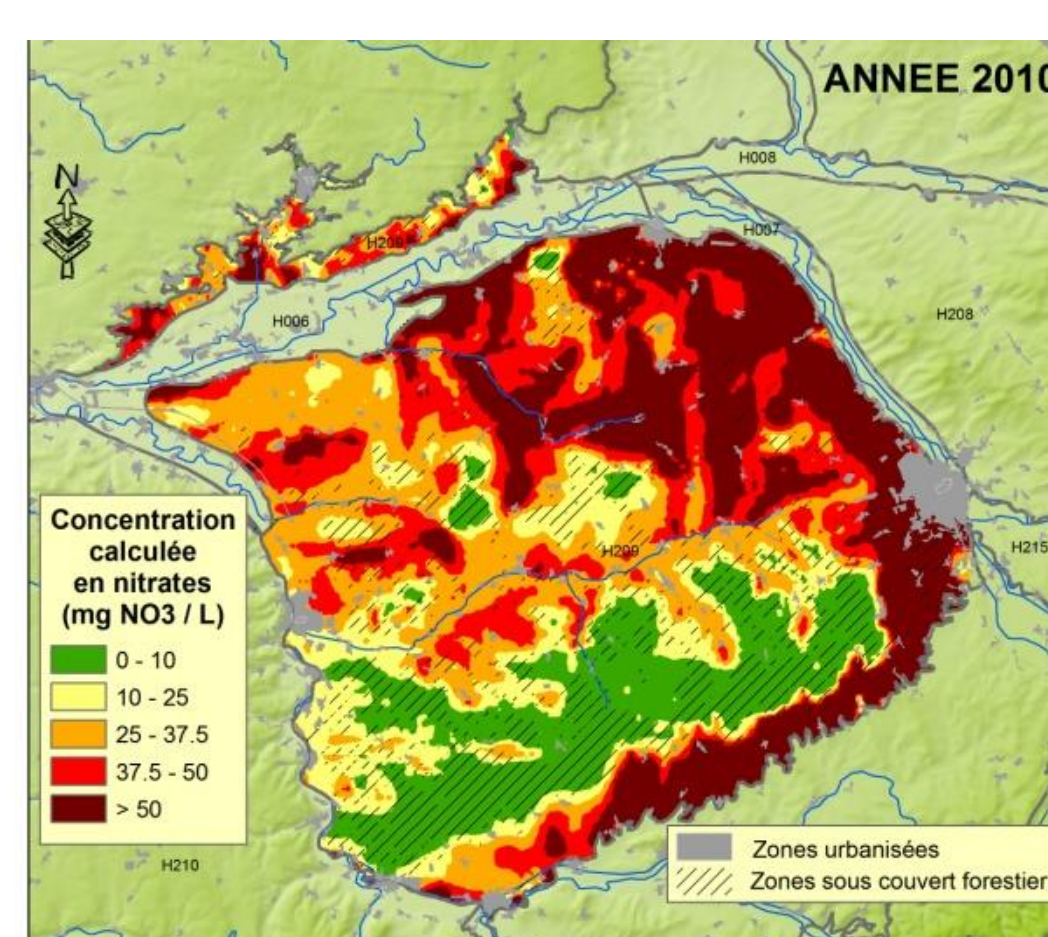


### Craie du Sénonais et Pays d'Othe

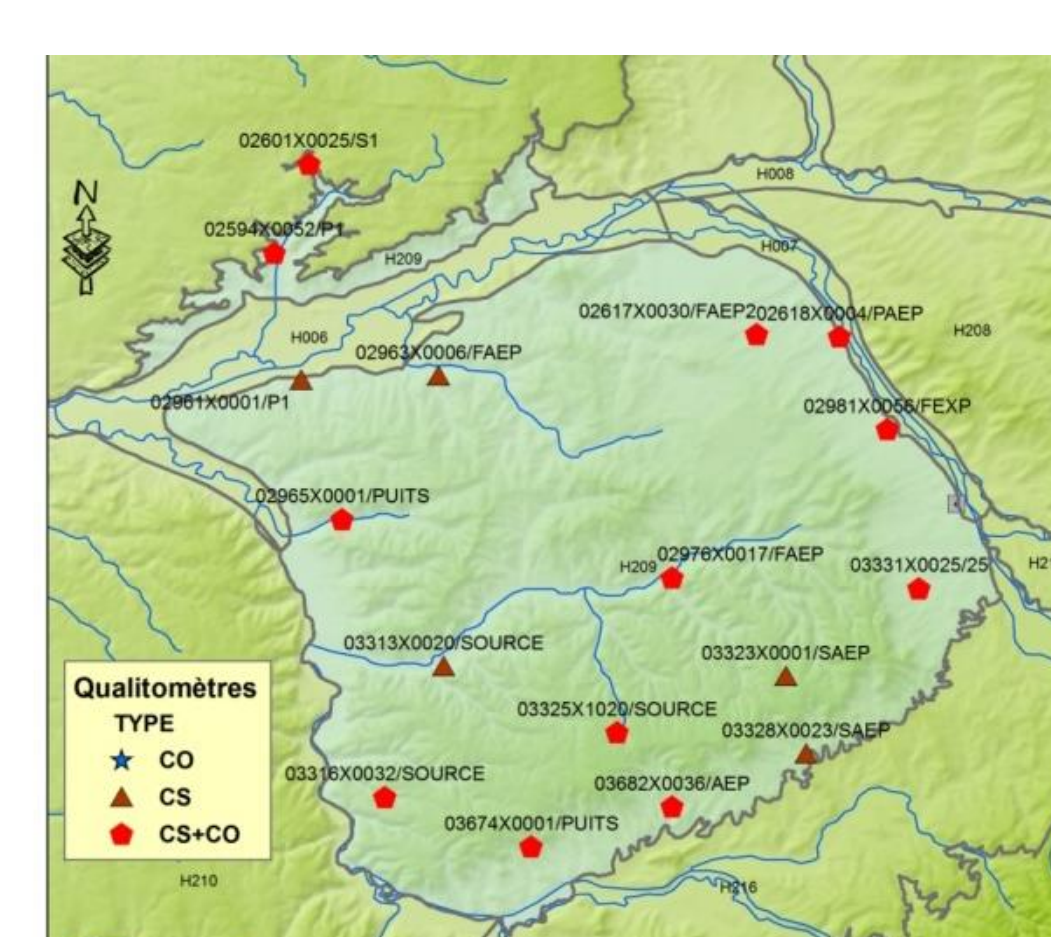
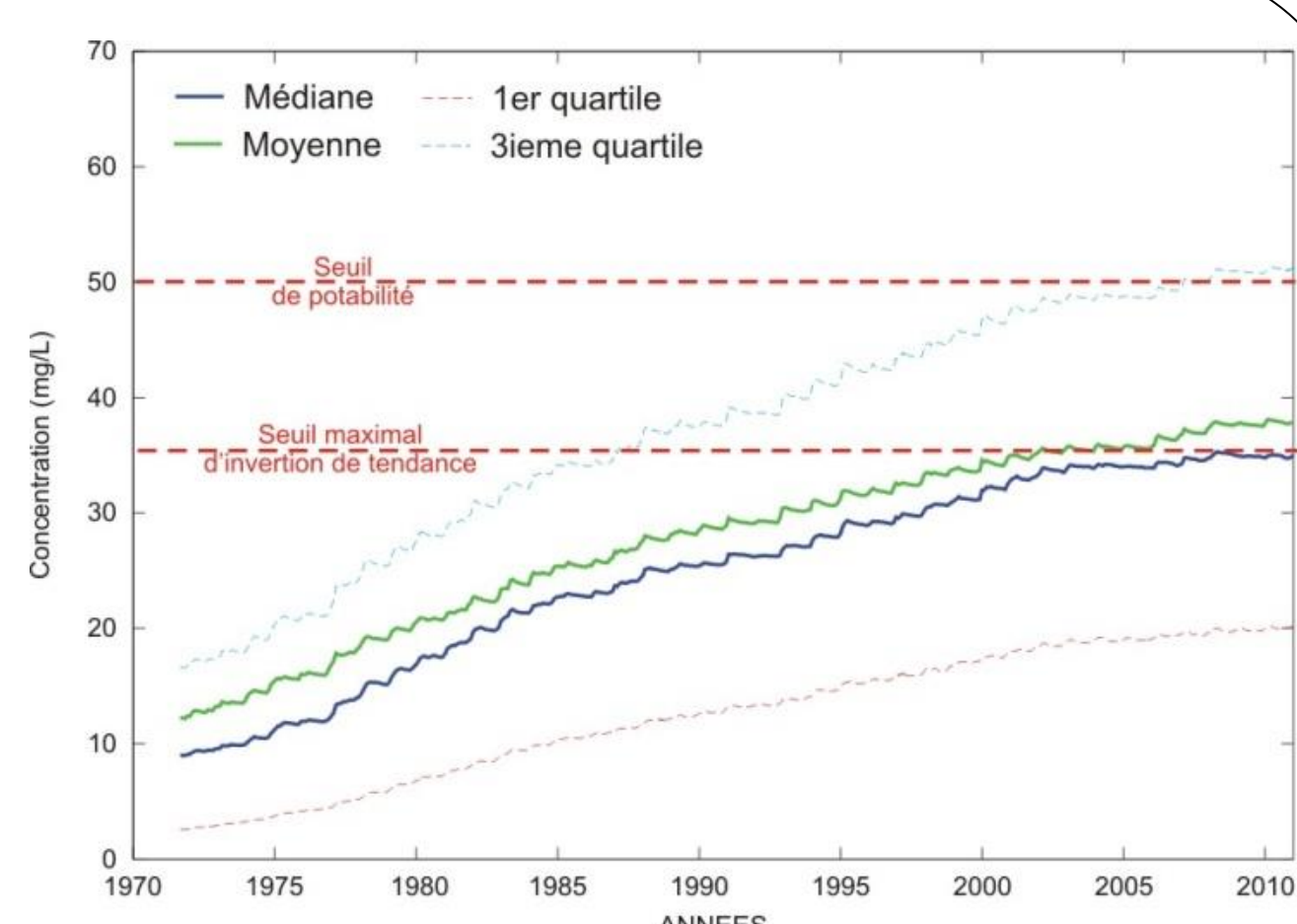
Surface totale : 4334 km<sup>2</sup> Surface affleurante : 3082 km<sup>2</sup> Surface modélisée (MESOa) : 3082 km<sup>2</sup> (100 %)  
Surface Agricole Utile : 2229.8 km<sup>2</sup> (72.3 %) Surface en forêts : 695.7 km<sup>2</sup> (22.6 %)

Période	Pluviométrie	Infiltration	Ruissellement	Flux N/ha SAU	Flux N/ha MESO	C. NO <sub>3</sub> infiltrée
1981-1990	771 mm/an	196 mm/an	51 mm/an	37.8 kg N/ha/an	27.4 kg N/ha/an	52 mg/L
1991-2000	770 mm/an	175 mm/an	47 mm/an	35.5 kg N/ha/an	25.7 kg N/ha/an	54 mg/L
2001-2010	729 mm/an	134 mm/an	33 mm/an	26.1 kg N/ha/an	18.0 kg N/ha/an	53 mg/L

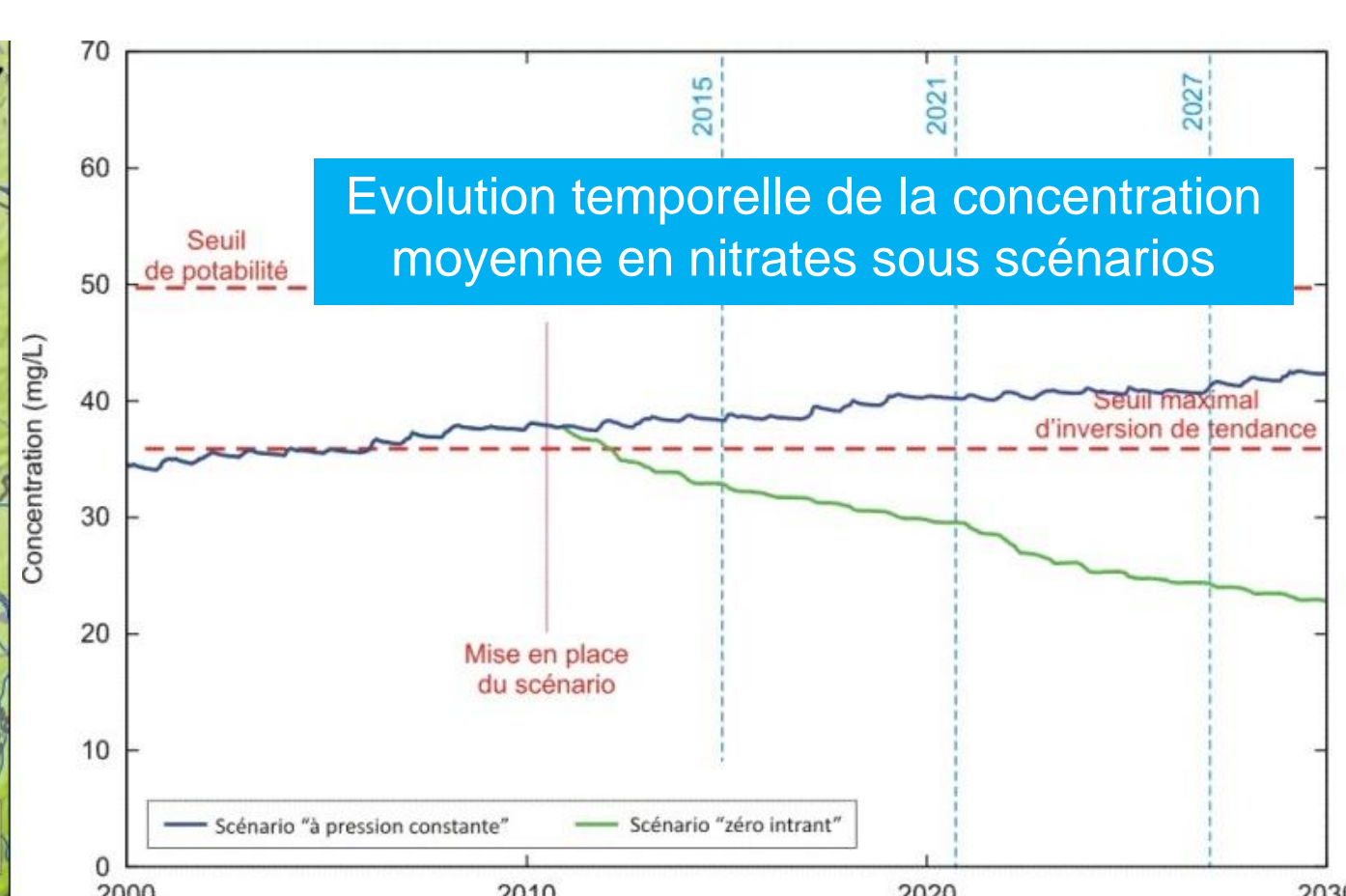
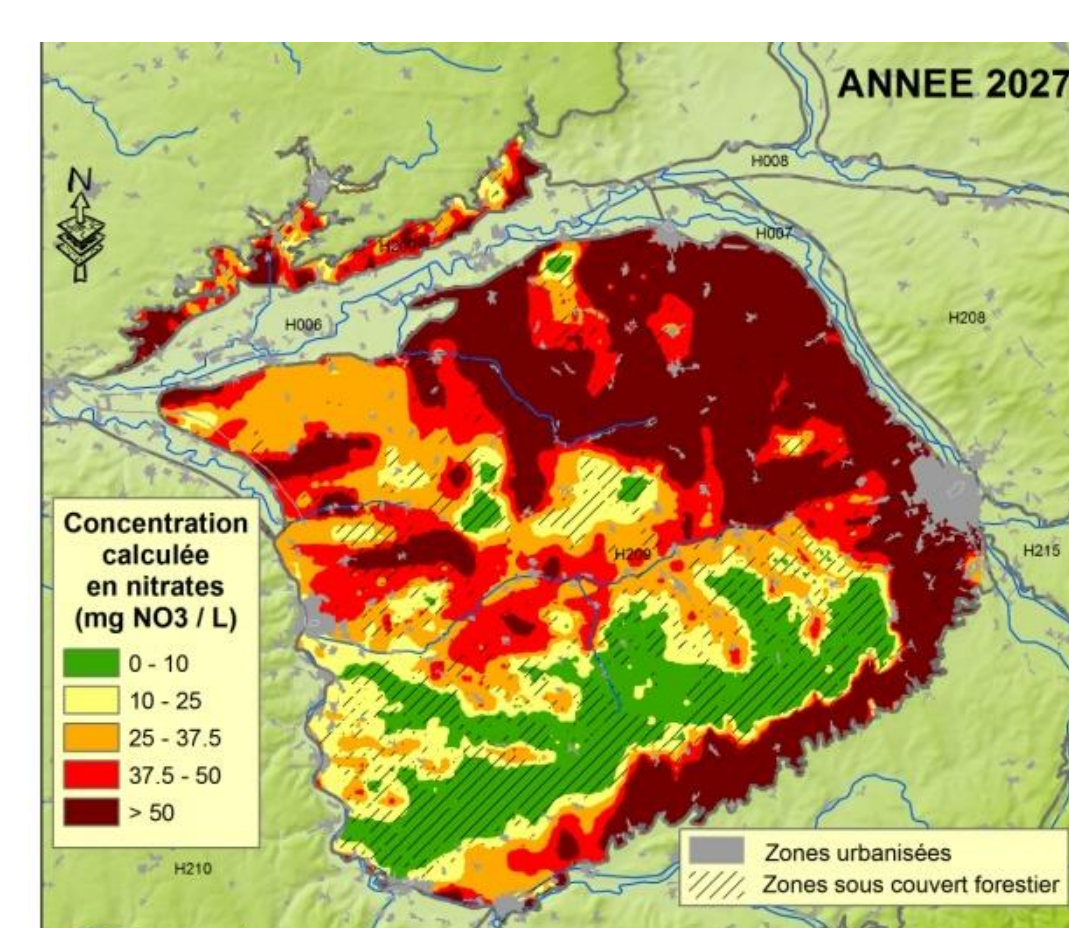
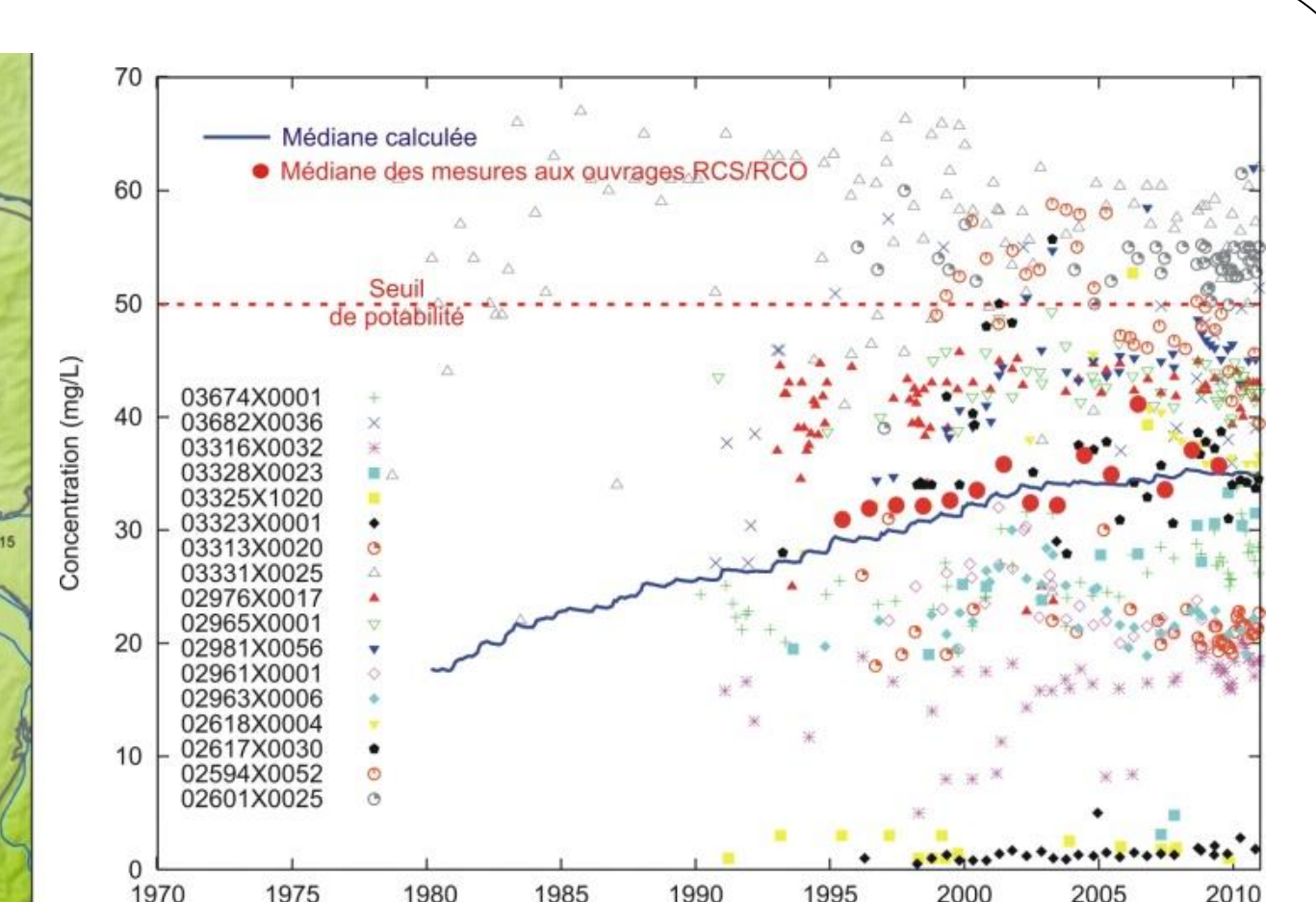
Partenaires



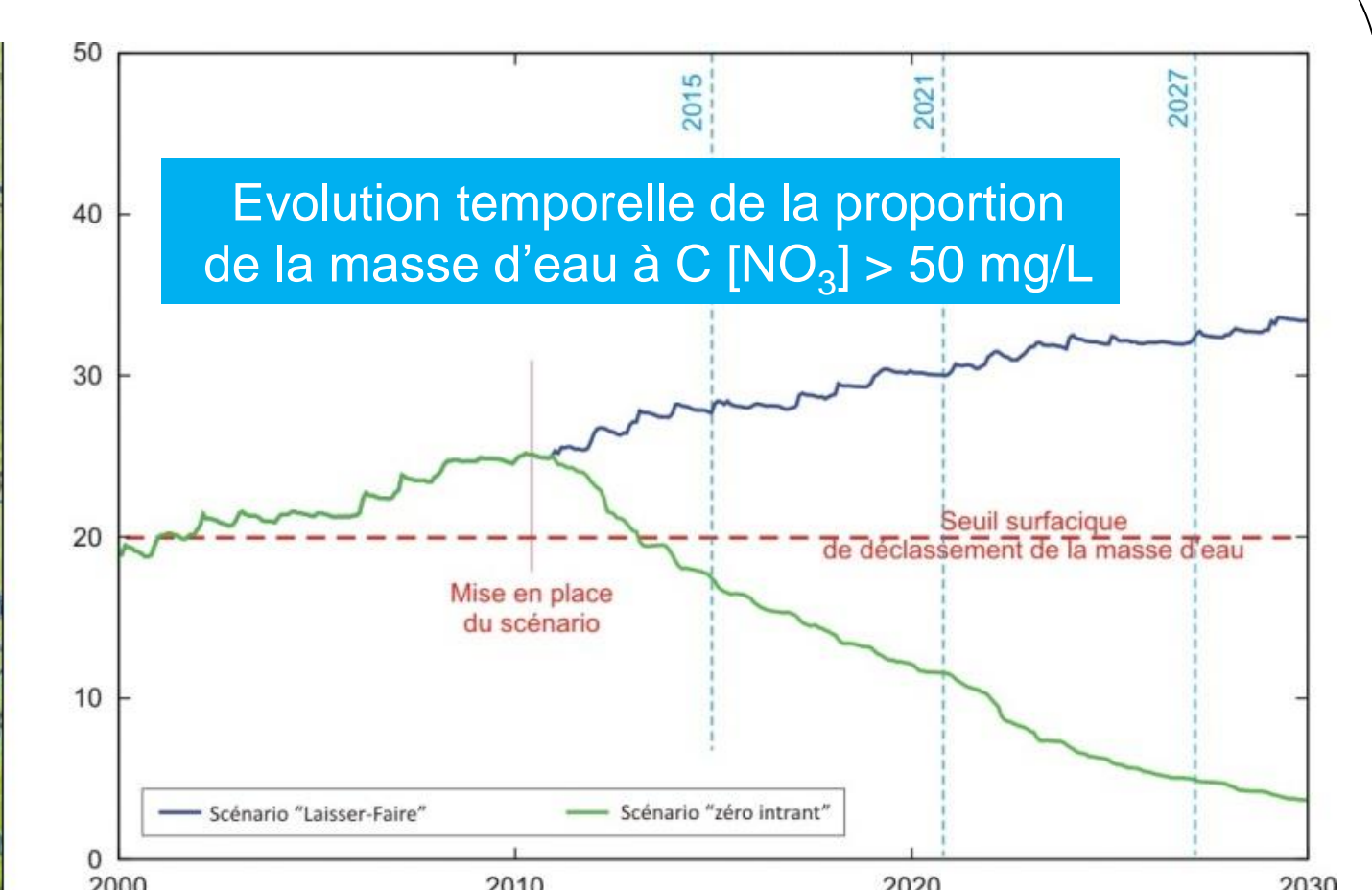
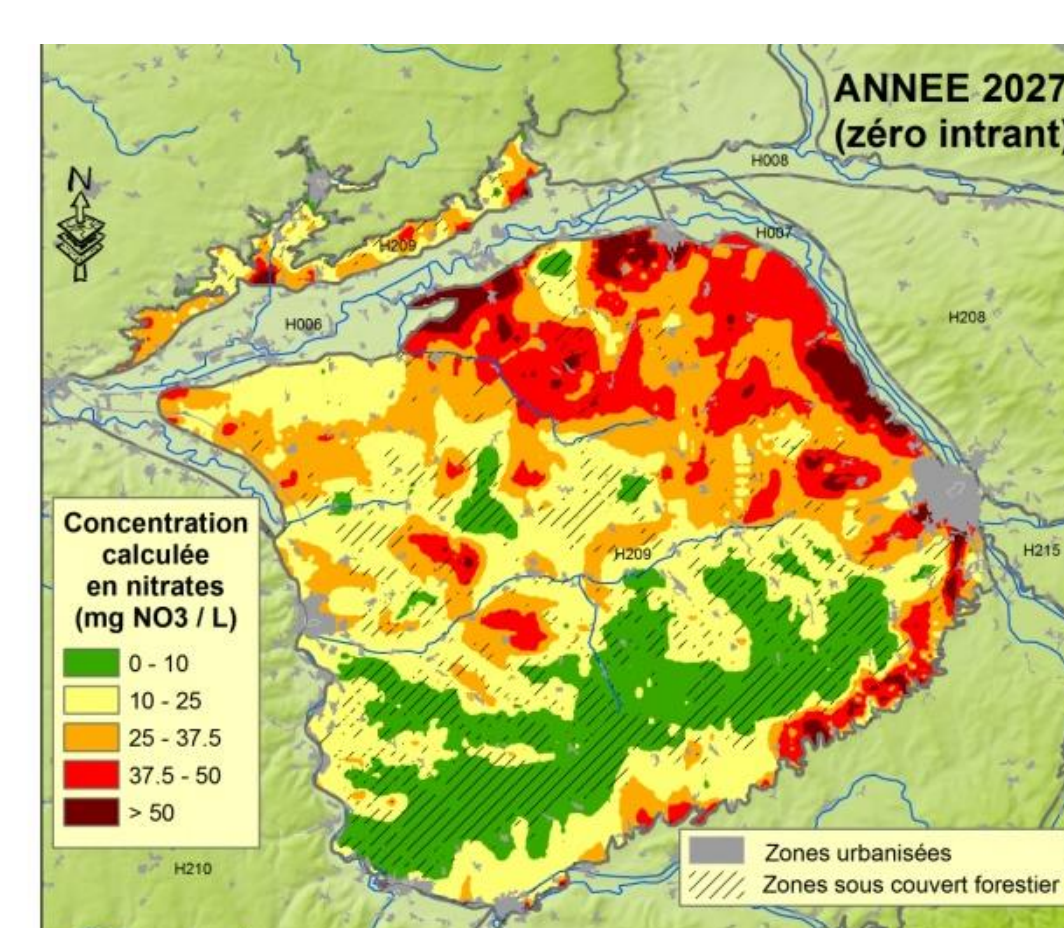
État actuel de la masse d'eau (concentrations calculées)



Représentativité du réseau de surveillance



Scénarios prospectifs à court terme :  
« à pression constante »  
et  
« zéro intrant »



<sup>1</sup> : Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE)

<sup>2</sup> : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

# ETUDE ET MODÉLISATION DE LA SORPTION DU CÉSIIUM SUR UN ADSORBANT MINÉRAL

C. Michel<sup>a,b</sup>, Y. Barré<sup>a</sup>, C. de Dieuleveult<sup>b</sup>, L. De Windt<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA) – Centre CEA Marcoule DEN/DTCD/SPDE/LPSD, 30207 Bagnols sur Cèze Cedex  
<sup>b</sup> Centre de Géosciences Mines Paristech – Equipe Hydrodynamique et Réactions, 35 rue Saint Honoré 77305 Fontainebleau Cedex

## CONTEXTE

**Problématique:** Traiter les effluents liquides radioactifs *d'origines diverses*, par des matériaux adsorbants *inorganiques*

### ORIGINE DES EFFLUENTS CONTENANT LE <sup>137</sup>Cs

- Usine de retraitement du combustible usé
- Décontamination lors des opérations de maintenance
- Installations de recherche technique et scientifique

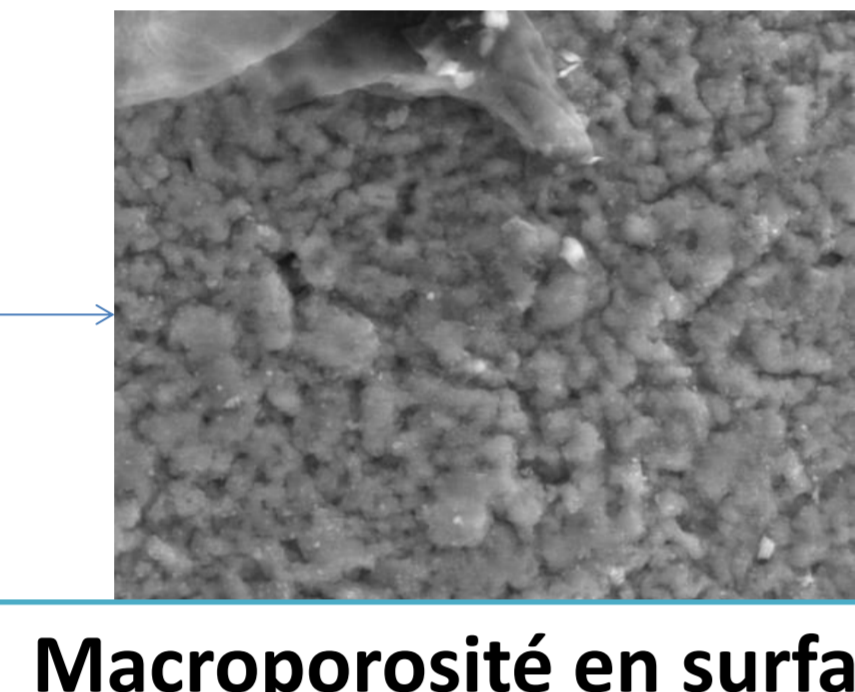
### PROCÉDÉ DE DÉCONTAMINATION EN COLONNE

- Permet de traiter des effluents d'origines diverses
- Peu coûteux et mise en œuvre facile
- Minimise la quantité de déchet
- Résistance mécanique et radiochimique (adsorbants minéraux)

## ADSORBANT COMMERCIAL: LE TERMOXID 35

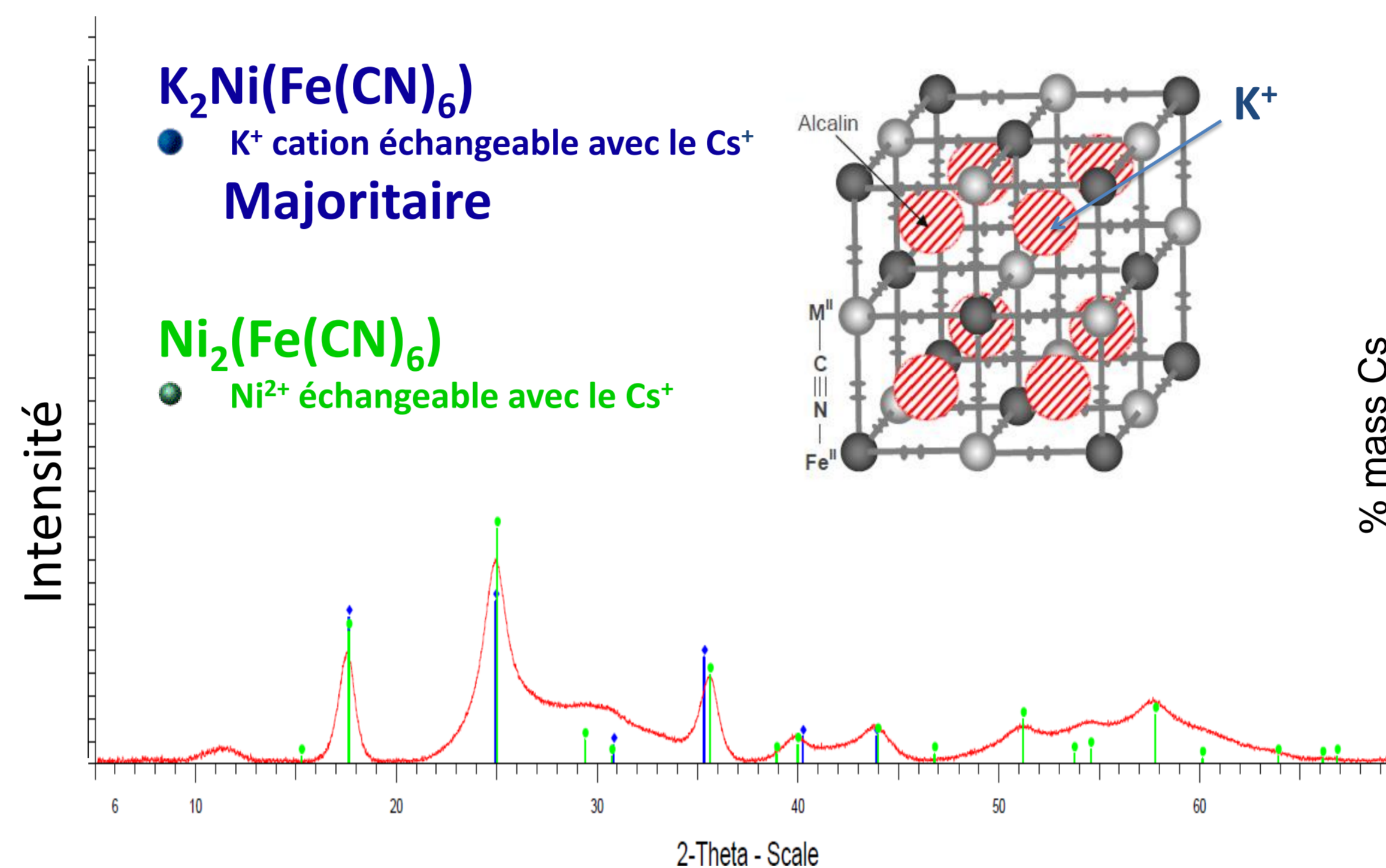
### Caractéristiques physico-chimiques

- Billes d'hydroxyde de zirconium imprégnées de ferrocyanures mixtes Ni/K
- Ferrocyanures très sélectifs du césium
- Taille moyenne des billes:  $d_p = 630 \mu\text{m}$
- Faibles pertes de charge

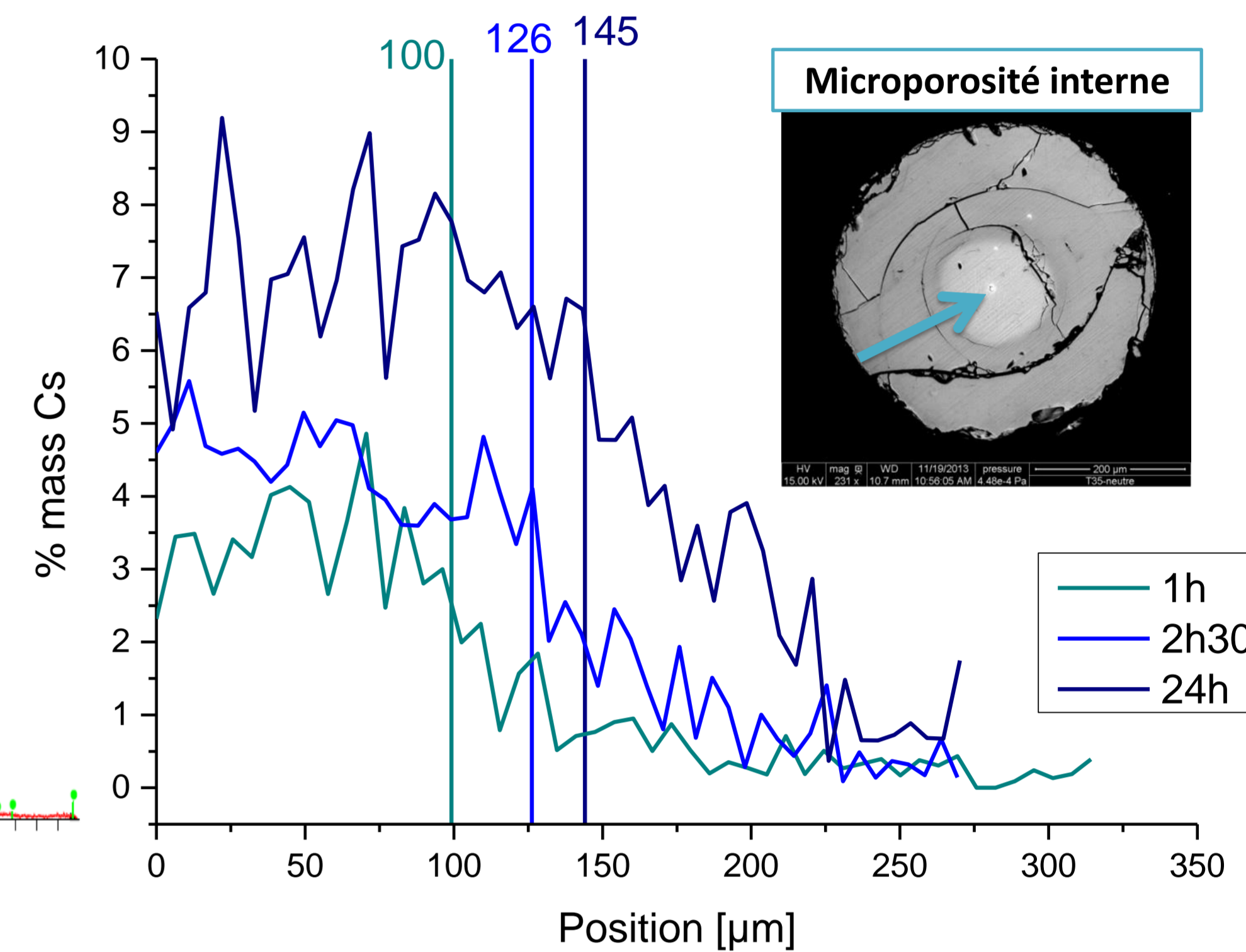


Macroporosité en surface

### Ferrocyanures mixtes non stœchiométriques

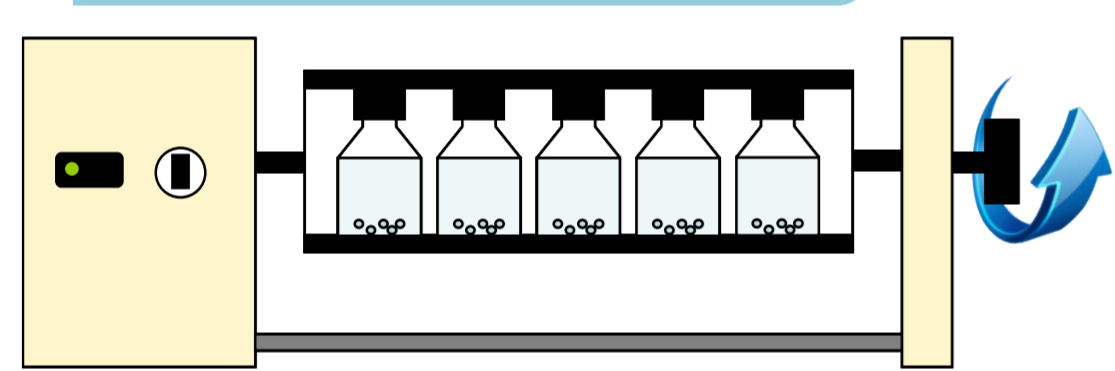


### Diffusion lente du césium dans la bille



## PROPRIÉTÉS DE SORPTION DU CÉSIIUM SUR LE T35

### Mode Batch



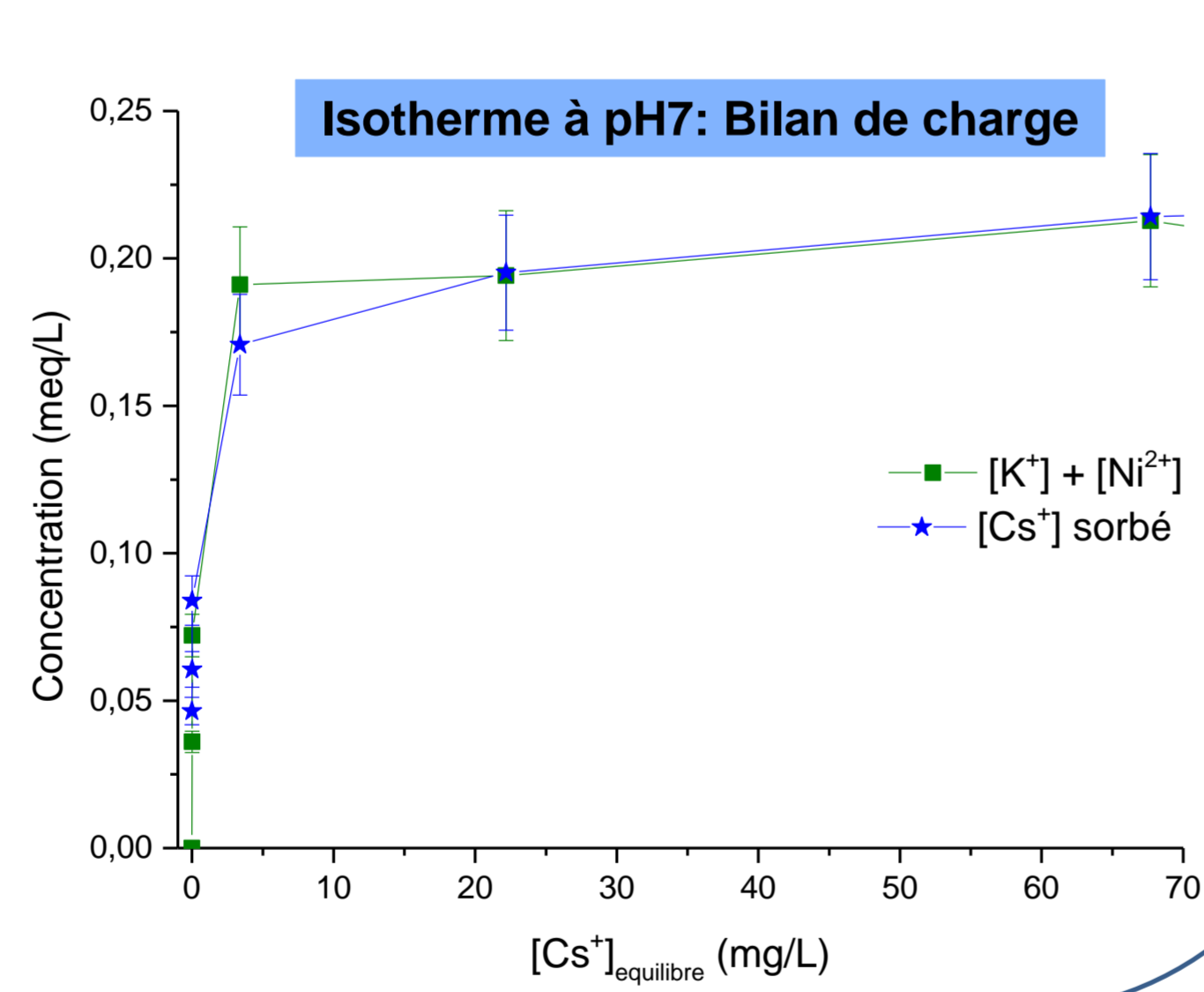
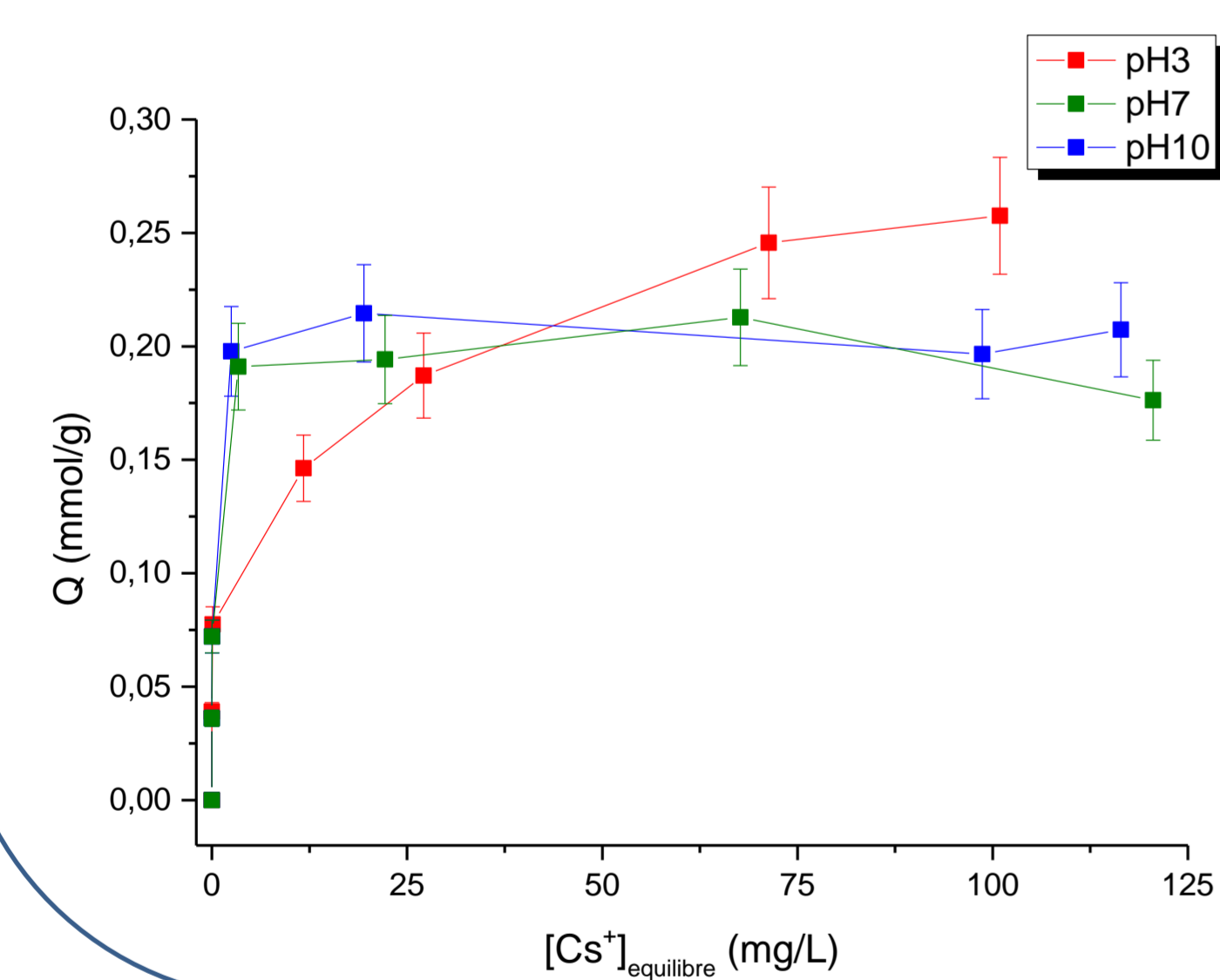
### Mode opératoire

Concentration en solide: 1 g/L  
 Agitation 4 jours  
 Effluents simulés:  
 pH = 3-7-10  
 $[Cs]_0 = 100 \text{ ppm}$

### Grandeurs calculées

Capacité de sorption (mg/g ou mmol/g)  $Q = \frac{C_0 - C}{m_{solide}} \cdot V$

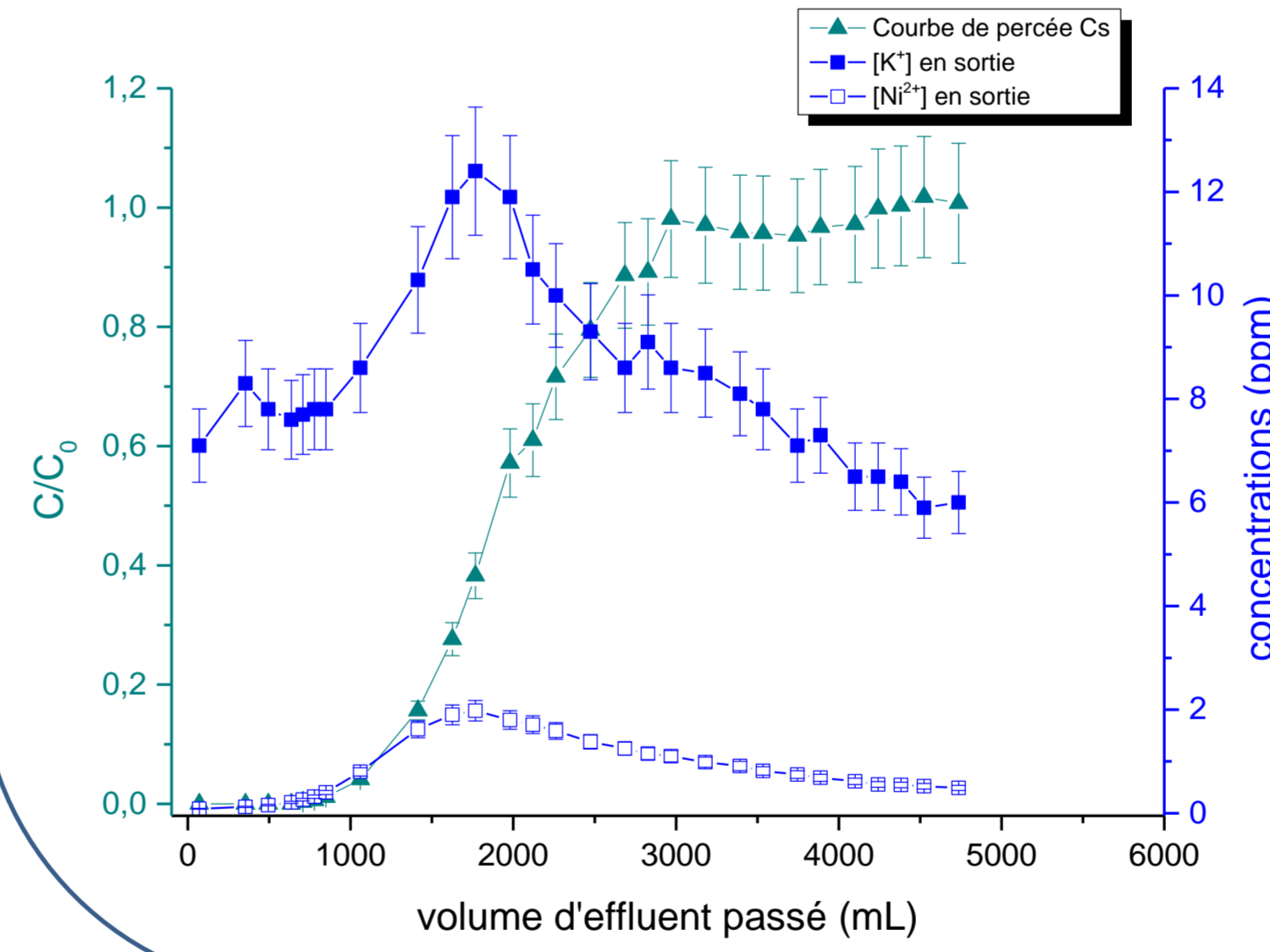
Coefficient de distribution (mL/g)  $K_d = \frac{[Cs]_{solide}}{[Cs]_{solution}} \times 1000$



### Mode dynamique

#### Paramètres opératoires

$\Phi$	1	cm
$H_{colonne}$	10	cm
$Q_{vb}$	18	bV/h
Q	70,7	mL/h
$H_{lit}$	5	cm
m	4,12	g
$t_{prélèvement}$	4	min
$V_{lit}$	3,9	mL



### Mode opératoire

- Rinçage de la colonne pendant 48h avec une solution eau +  $NaNO_3_{0,01M}$  à pH 7
- Injection de l'effluent

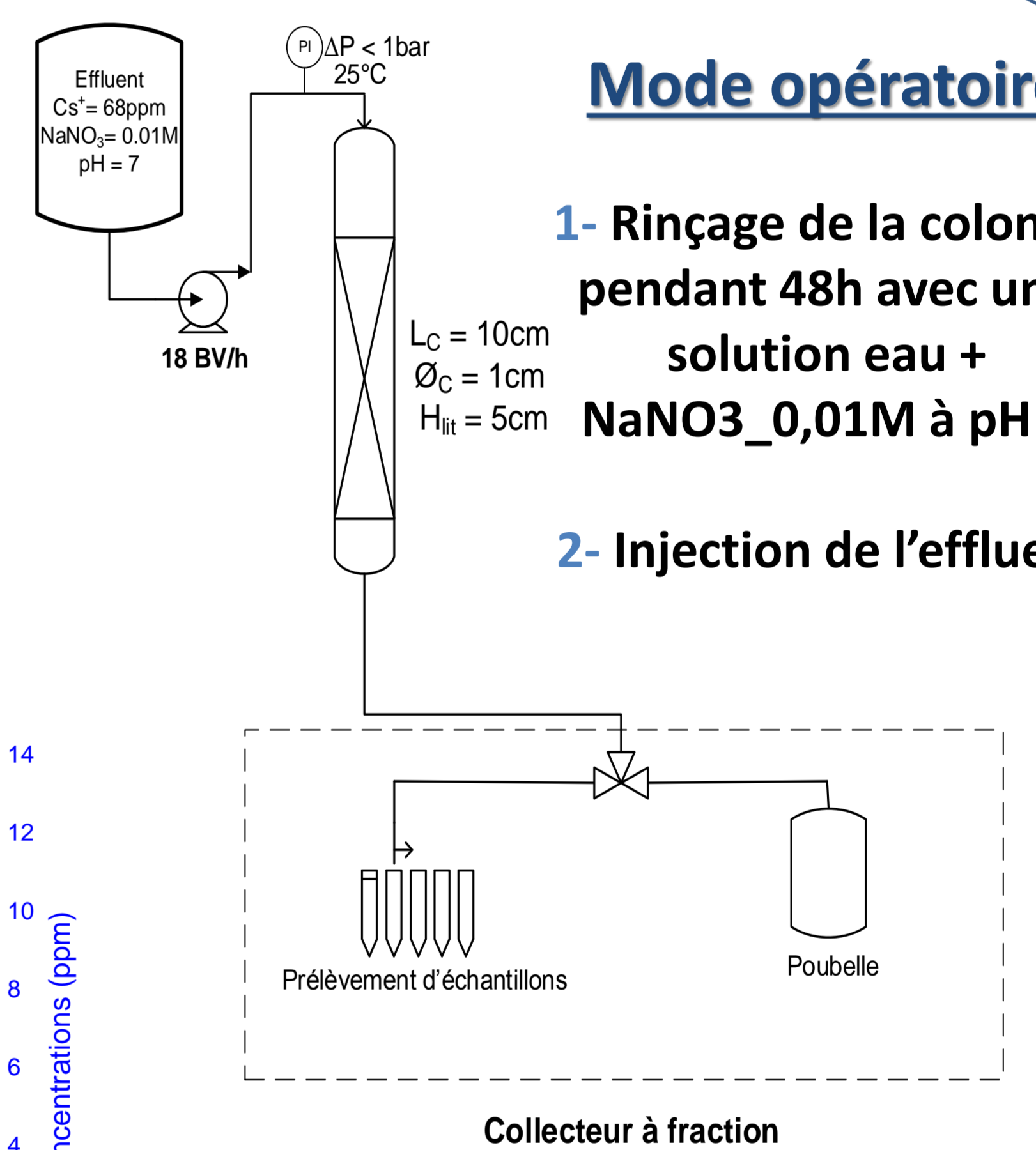
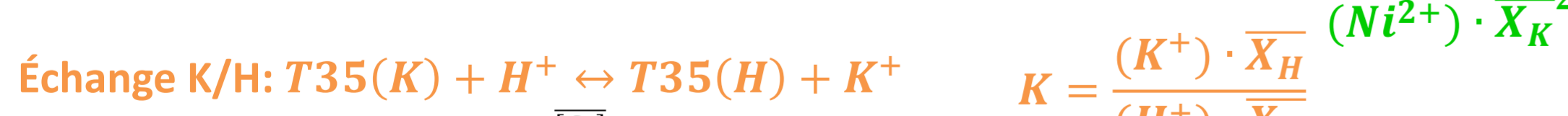
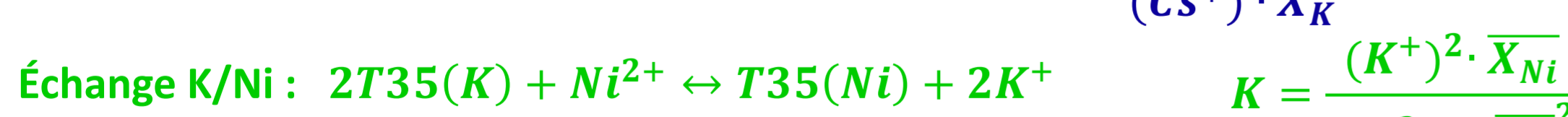
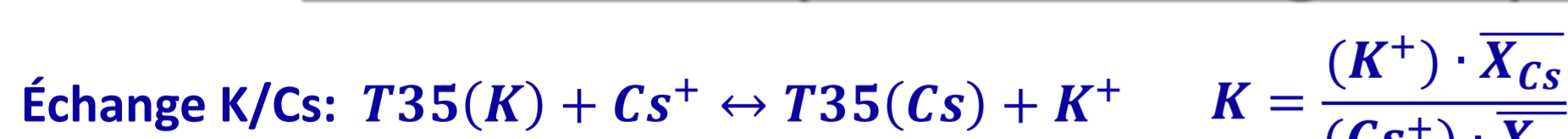


Schéma du montage de la décontamination en Micro-colonne

## MODÉLISATION SUR HYTEC

**CHES:** Code de spéciation chimique – **HYTEC:** Code de transport hydrodynamique couplé à CHES

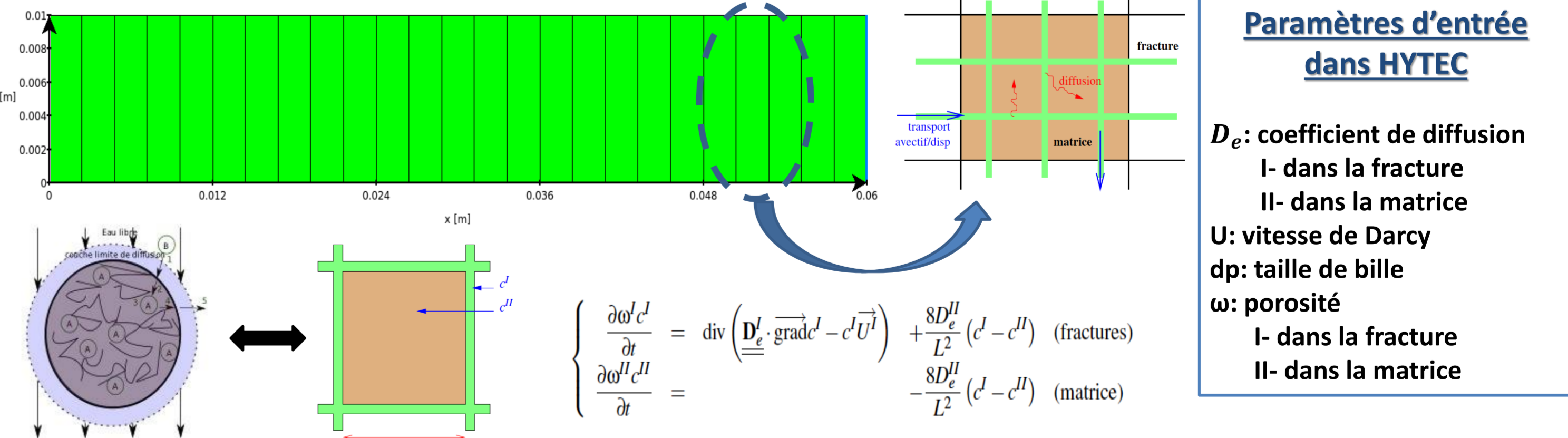
### Définition des équations d'échange ionique



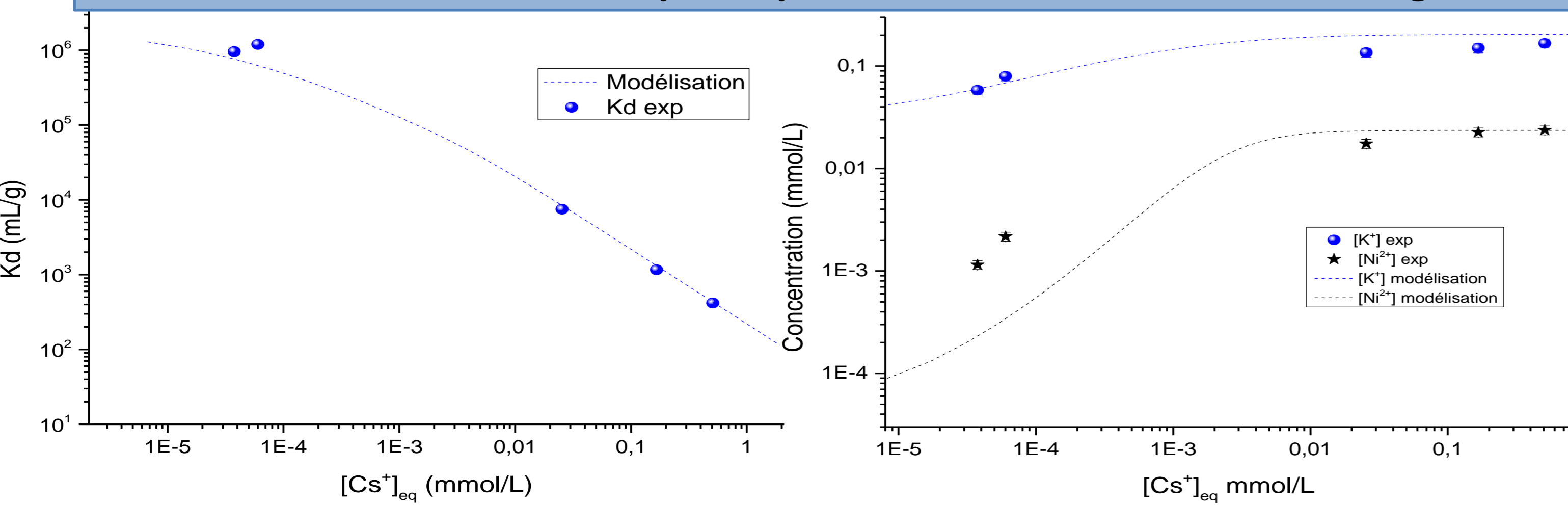
Formalisme de Vanselow:  $\bar{X}_{Cs} = \frac{[Cs]}{\sum_i [X_i]}$  concentrations en mol/L

Transposition au mode dynamique

### Modélisation de la colonne sur HYTEC



### Modélisation de l'isotherme à pH7: optimisation des constantes d'échange d'ions



## CONCLUSION/PERSPECTIVES

- Échange d'ions K/Cs et Ni/Cs
- Bonne corrélation entre la modélisation de l'échange d'ions et les courbes expérimentales
- Essais en colonne: Influence des paramètres opératoires ( $H_{lit}$ ,  $Q_v$ , concentrations, pH)
- Validation du procédé en actif (batch et colonne)
- Modélisation en colonne: Etude de sensibilité des paramètres d'entrée

## Parties prenantes



## Auteurs

Lauriane Vilmin  
Edwige Polus-Lefebvre  
Chantal de Fouquet  
Michel Poulin  
Nicolas Flipo

\* La médaille d’Argent de l’Académie de l’Agriculture a été décernée à Edwige Polus-Lefebvre pour son travail de thèse soutenue publiquement le 06/12/2010

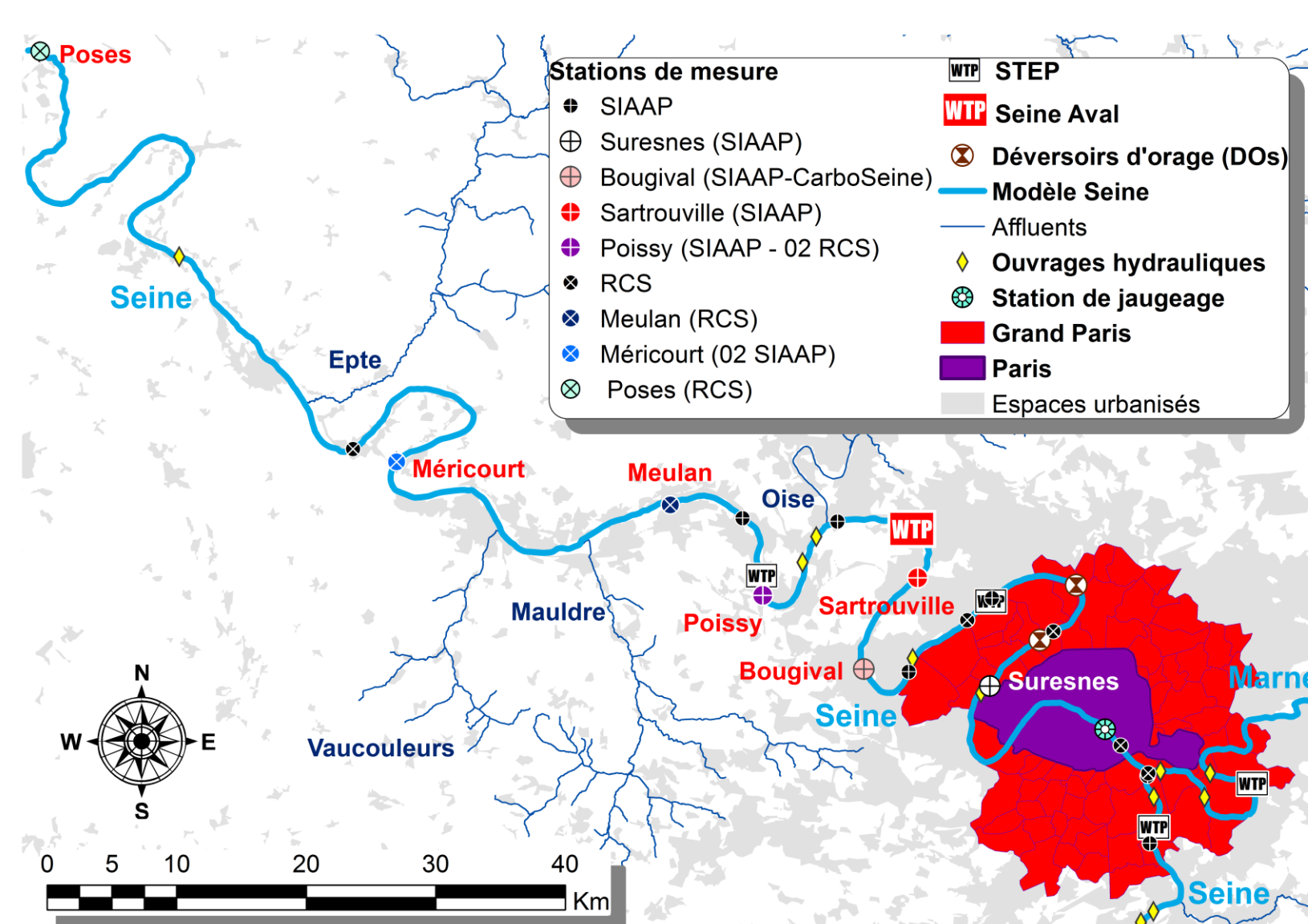
## Partenaires



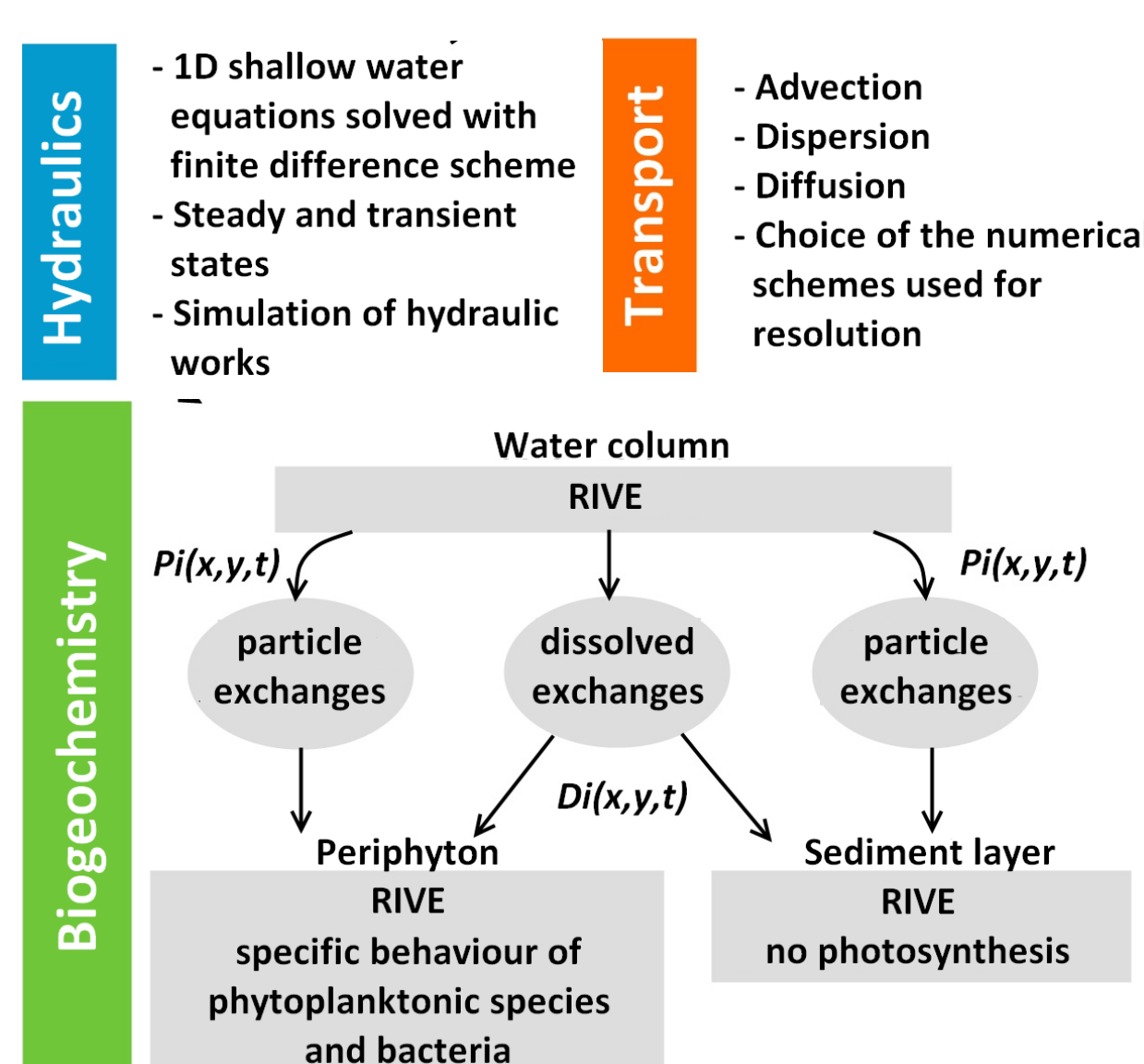
## Problématiques et Objectifs

- Enjeu : Gestion des eaux usées
- Quantifier l’impact de l’agglomération parisienne sur la qualité de l’eau de la Seine : Modélisation de la variable intégratrice Oxygène dissous
- Remplir les objectifs de reconquête de la qualité de l’eau que nous nous sommes fixés dans le cadre de la Directive Cadre sur l’Eau tout en garantissant les usages (notamment alimentation en eau potable, production agricole, production d’énergie, ...)

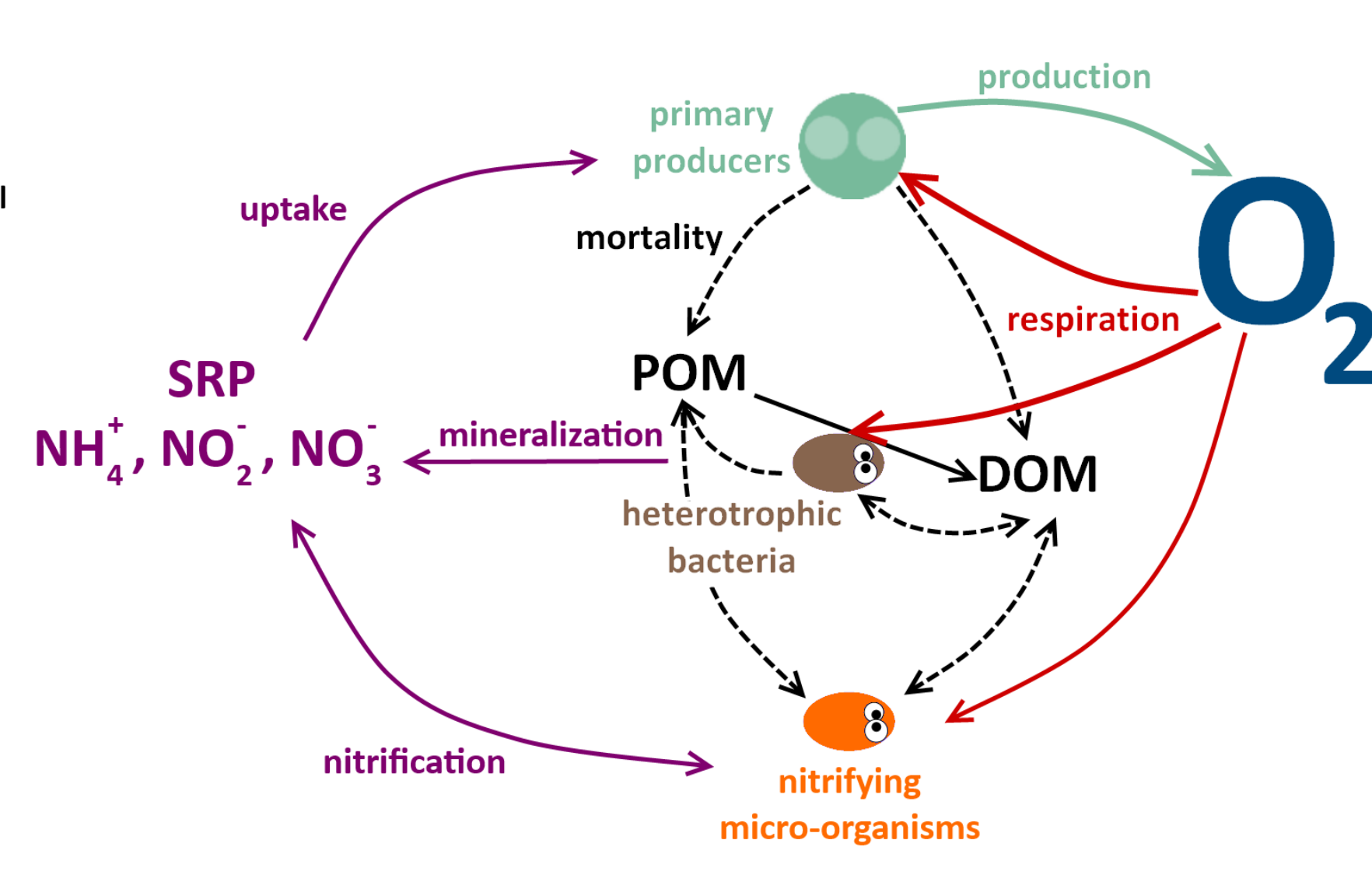
## Suivi du milieu et modélisation hydro-biogéochimique



10 Millions d’habitants

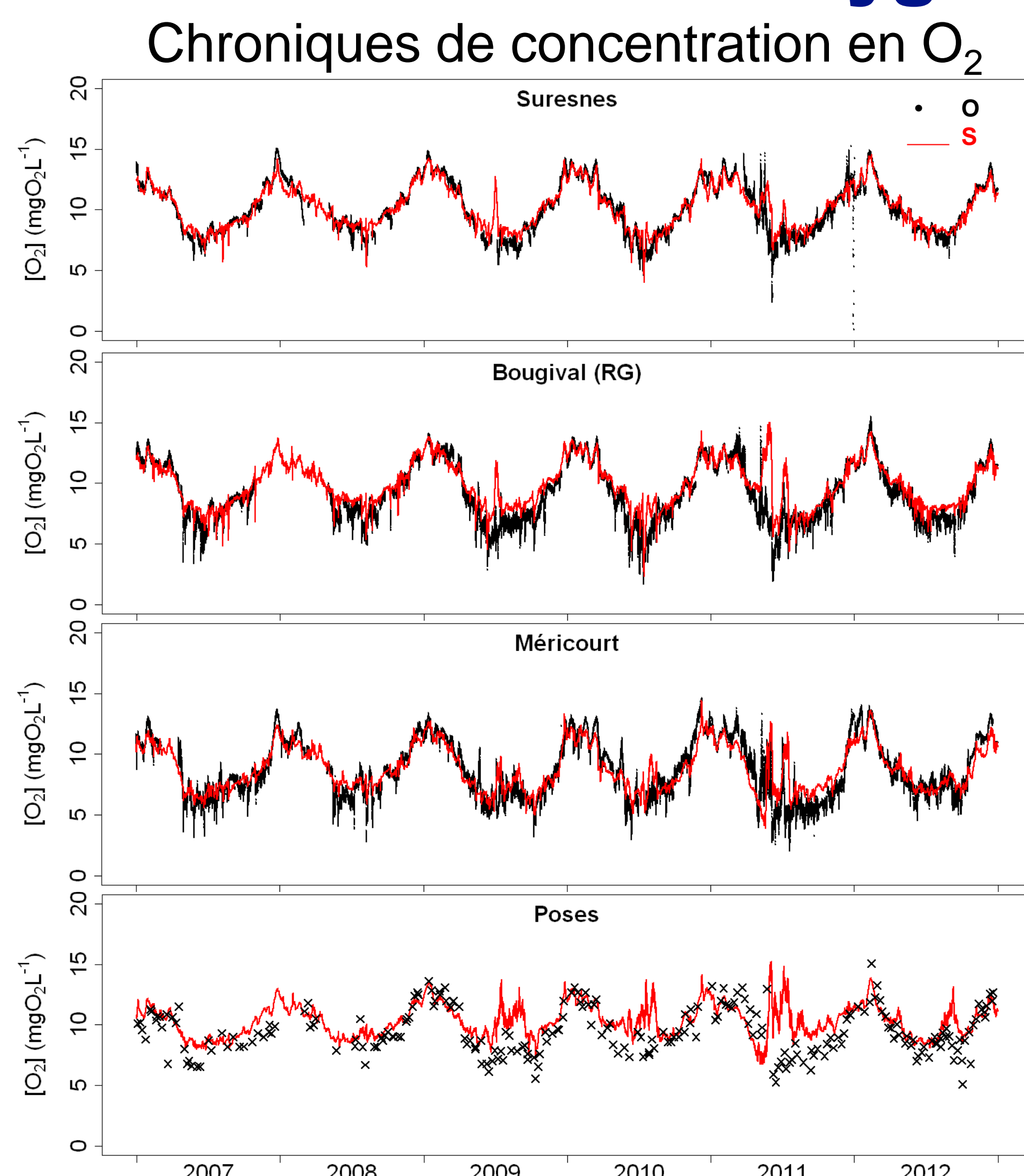


Modèle hydro-biogéochimique ProSe

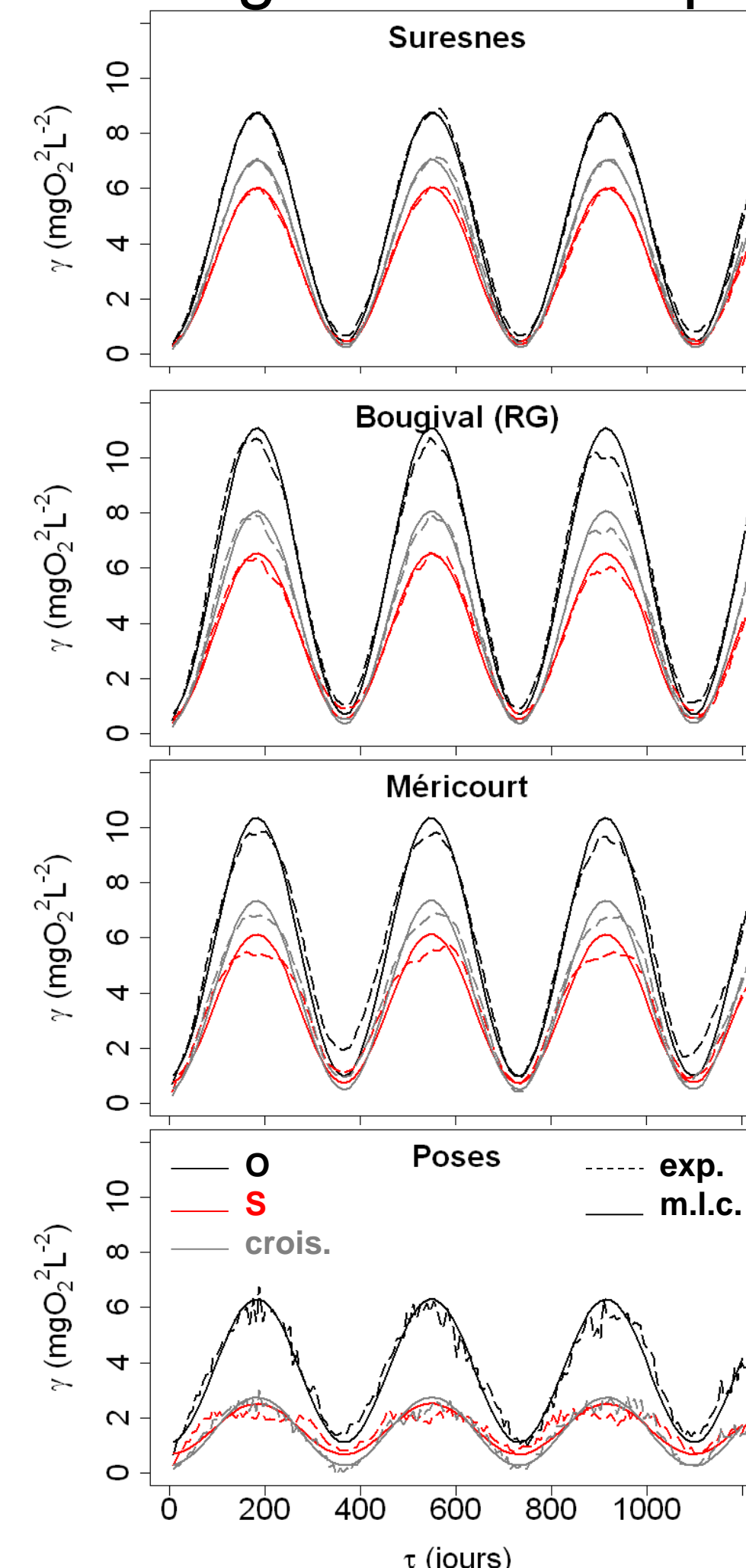


Modèle biogéochimique C-RIVE

## Modélisation de l’Oxygène dans le milieu (2007-2012)



### Variogrammes temporels



O = Observations  
S = Valeurs simulées avec ProSe

1 Variogramme :  $\gamma_o = \frac{1}{2} E[(O(t+\tau) - O(t))^2]$

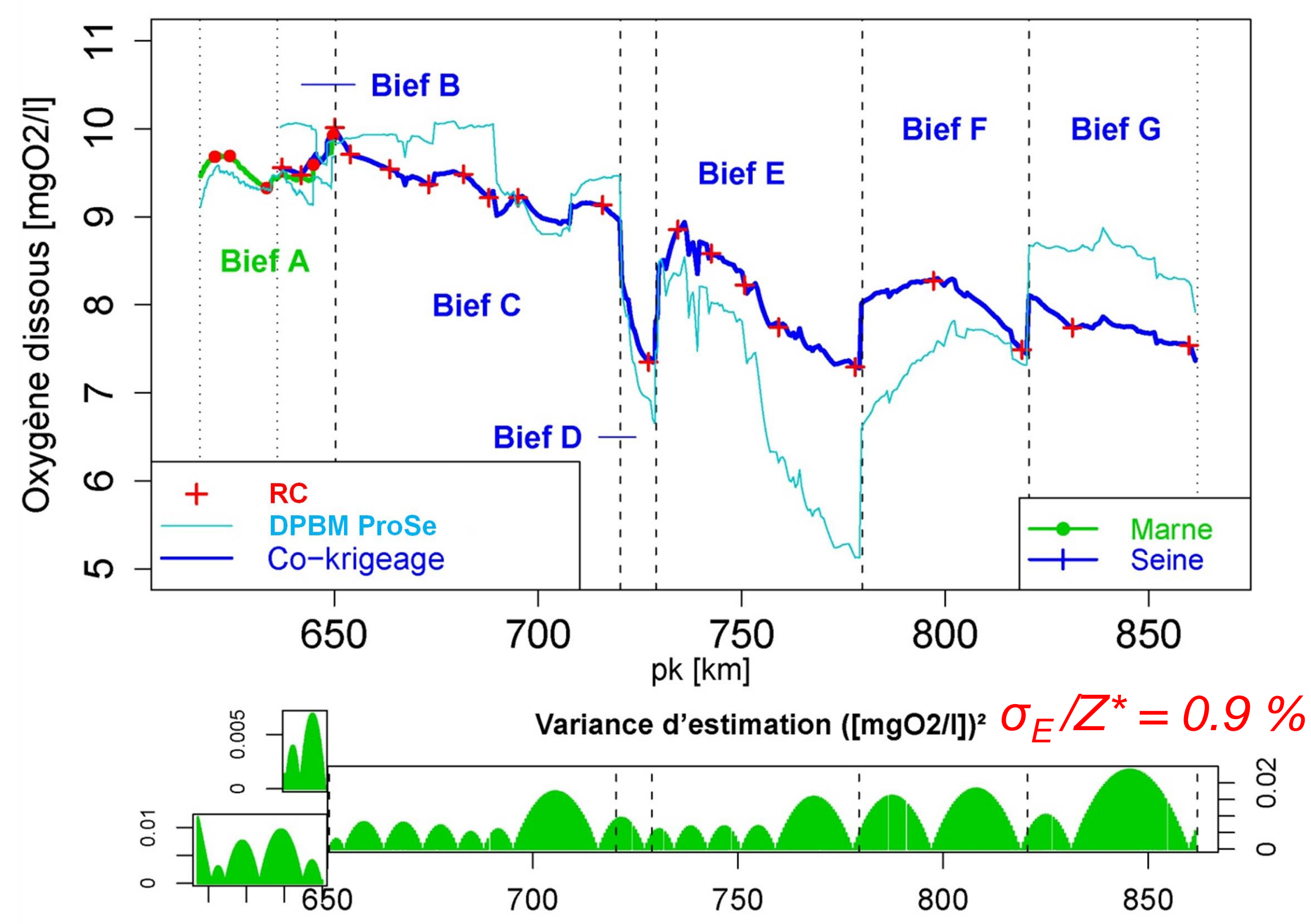
Vario. croisé :  $\gamma_{os} = \frac{1}{2} E[(O(t+\tau) - O(t))(S(t+\tau) - S(t))]$

2 Décomposition en signaux temporels :

$$\begin{cases} O(t) = \sum_{i=1}^{N_o} O_i(t) \\ S(t) = \sum_{i=1}^{N_s} S_i(t) \end{cases} \quad \gamma_o = \sum_{i=1}^{N_o} \gamma_{O_i} \quad \text{et} \quad \gamma_s = \sum_{i=1}^{N_s} \gamma_{S_i}$$

3 Modèle linéaire de co-régionalisation :  $O_i = \rho_i \omega_i S_i + \sqrt{1 - \rho_i^2} R_i$   
 $\rho_i$  = corrélation ( $O_i, S_i$ )  
 $\omega_i$  = valeur de palier

## Estimation rétrospective de la qualité moyenne estivale en 2003



- Amélioration de l’estimation de la concentrations en O<sub>2</sub> dans le milieu grâce à l’utilisation conjointe de la géostatistique et de la modélisation hydro-biogéochimique
- Utilité de la modélisation comme interpolateur spatial et temporel
- Prise en compte des processus biogéochimiques induisant la variabilité des concentrations en O<sub>2</sub> dissous

Pour en savoir plus....

Geostatistics for assessing the efficiency of a distributed physically-based water quality model: application to nitrate in the Seine River

Edwige Polus, Nicolas Flipo, Chantal de Fouquet and Michel Poulin  
MINES ParisTech, Centre de Gouvernance, 31 rue Saint-Benoit, F-77305 Fontainebleau, France



Pluri-annual sediment budget in a navigated river system: The Seine River (France)  
Lauriane Vilmin<sup>1,2\*</sup>, Nicolas Flipo<sup>3,4\*</sup>, Chantal de Fouquet<sup>1</sup>, Michel Poulin<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>MINES ParisTech, 31 rue Saint-Benoit, 77305 Fontainebleau, France  
<sup>2</sup>Service Environnement, UMR 7619 metis, 77305 Fontainebleau, France



### Auteurs

Frédéric Paron  
Didier Graillot

### Partenaires



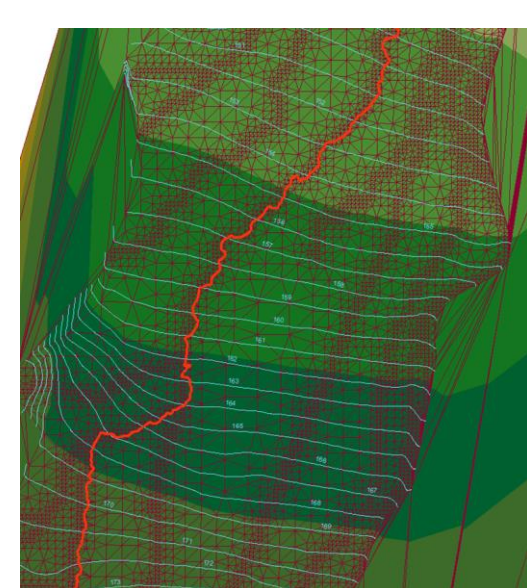
## Mise au point méthodologique : Projet Eau Sout' (fleuve Rhône)

### Approche interdisciplinaire en milieu alluvionnaire

- **Modélisation simplifiée** (SIG) – Analyse géomatique pour l'évaluation des gradients d'échange nappe-rivière : sens et débit
- **Invertébrés souterrains** (Stygobies) – Indicateurs biologiques des origines superficielles ou souterraines de l'eau
- **Végétation aquatique** (Macrophytes) – Indicateur biologique semi-quantitatif des apports de nappe
- **Géochimie** (ions dissous et isotopes) – Signature chimique pour discriminer et quantifier l'origine de l'eau
- Typologie des échanges nappe-rivière
- Caractérisation des échanges nappes alluviales-rivière fondée sur un diagnostic synthétique obtenu par croisement des méthodes utilisées



*Niphargus rhenorhodanensis*  
Source : Pierre Marmonier



Tin de nappe  
Source : Frédéric Paron

## Perfectionnement méthodologique : Projet NAPROM

### Nouveaux outils et nouveaux contextes

- La **Loire** dans la plaine alluviale du Forez, la plaine alluviale de l'Ille affluente du **Rhin**, l'Orgeval sous-bassin de la **Seine**, la **Sèvre-Niortaise** petit fleuve côtier
- Modélisation distribuée à base physique (Eau-Dyssée, Marthe)
- Modélisation distribuée à base physique et hydrothermique (Metis)
- Dispositif MOLONARI (Monitoring local des échanges nappe-rivière)
- Images thermiques infrarouges (IRT)
- Mises à jour et compléments méthodologiques, typologiques et documentaires par rapport au projet Eau Sout'

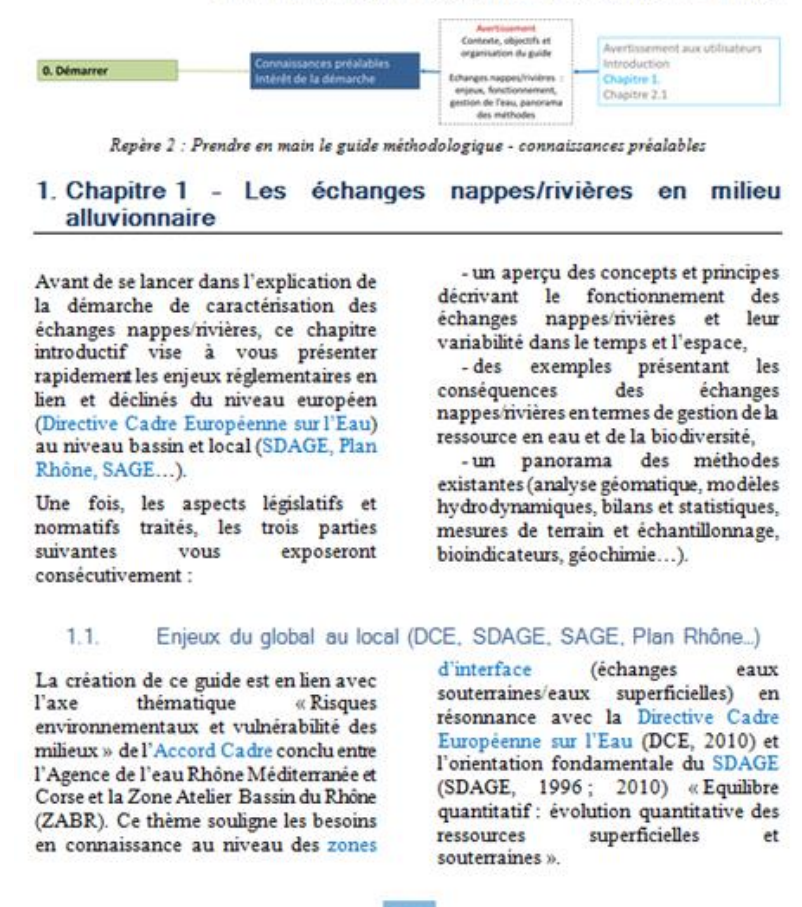
## Guide méthodologique et guide technique

### Sorties prévues en 2015 et 2016

- Questions de départ pour le guide méthodologique Eau Sout' :
  - Quels sont les outils les plus adaptés sur les milieux alluvionnaires pour caractériser les échanges nappe-rivière ?
  - Comment procéder et quelle est la marche à suivre pour caractériser les échanges nappe-rivière ?
- Destinataires : acteurs et techniciens de l'eau
- Un cheminement pour sélectionner la ou les méthodes adaptées selon les caractéristiques de la zone d'étude, les enjeux locaux, l'échelle de travail et l'existence de données
- Une assistance pour interpréter, synthétiser et cartographier les résultats
- Une version plus pratique remaniée sous forme de fiches techniques intégrant les acquis du projet NAPROM prévue pour 2016



Une libellule sur un centre-canal pagé de l'Étiève du Canada (Source : F. Paron)



Extrait du guide Eau Sout'  
Source : Frédéric Paron

### Problématique de gestion

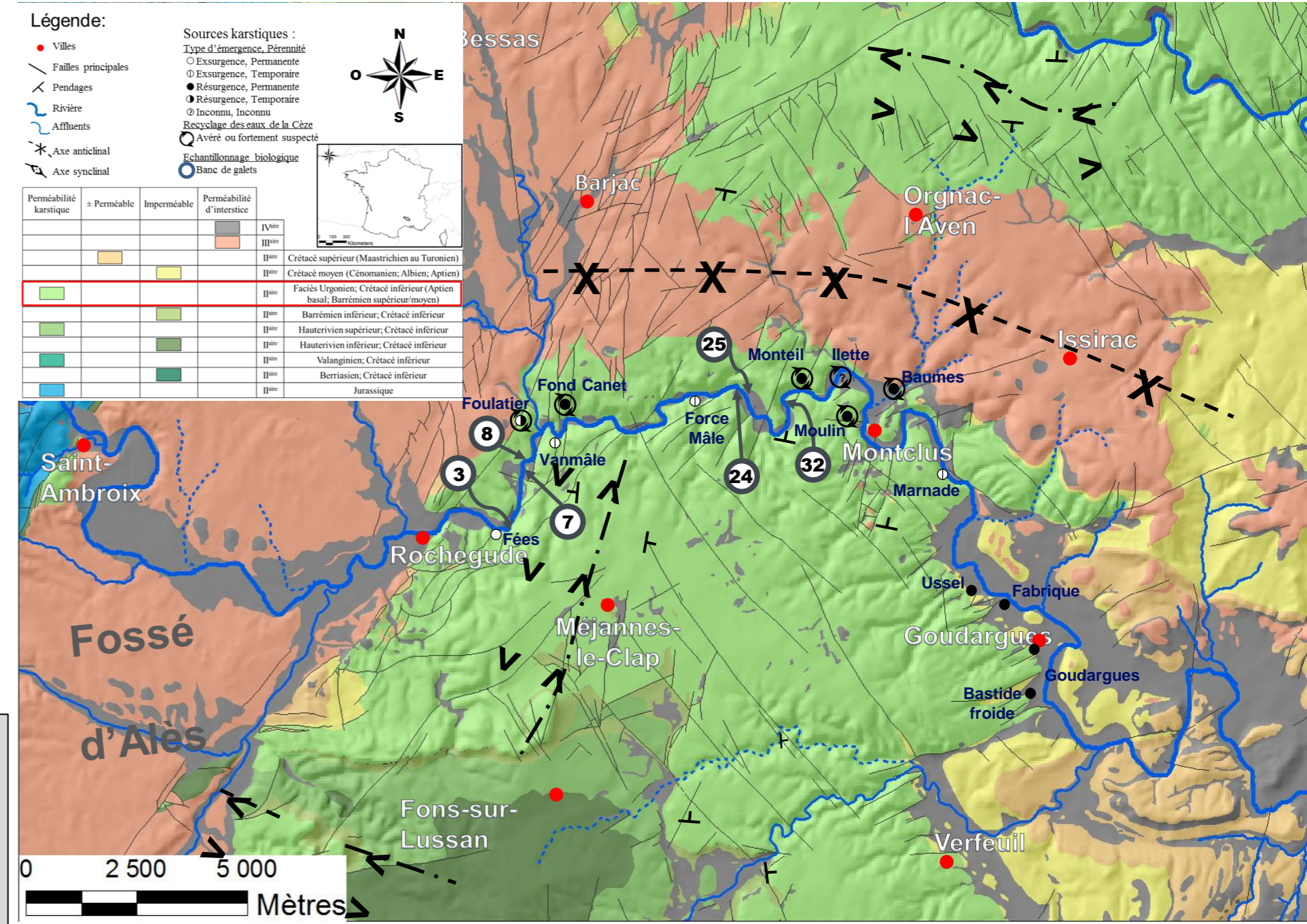
- **Problèmes quantitatifs** en basses eaux → Conflits d'usages → Etude « volumes prélevables ».
- Politiques territoriales (SCOT/PLU) incompatibles avec le manque d'eau estival → **Optimiser** l'exploitation de l'eau ou **prospector** de nouvelles ressources.
- **Connaissances insuffisantes** : fonctionnement hydrogéologique, prélèvements (AEP et irrigation), débits réservés (baignade et exigences écologiques).

### Problématique scientifique

- **Caractériser** et **quantifier** les échanges karst / rivière et définir quand le karst est « approvisionneur » ou « consommateur » d'eau.
- **Suivre** (débits, précipitations, conductivité, chimisme, thermie, etc.), **comprendre** et **modéliser** le système au cours de cycles hydrologiques et particulièrement en situation d'étiage.
- **Restituer** les résultats aux gestionnaires pour l'aide à la décision et leur **proposer** un dispositif de suivi simplifié.
- **Généraliser** cette méthodologie à d'autres contextes karstiques.

### Singularités du site d'étude :

- Débits de la rivière Cèze variés d'amont en aval du domaine karstiques :
  - Fonctionnement hydrodynamique ;
  - Zones de pertes importantes (Rochegude, Baumes-Salène)
- Typologie des émergences karstiques variée :
  - Sources ponctuelles ou diffuses ;
  - Apports des sources karstiques difficiles à quantifier
  - Débit, Chimisme, Conductivité, etc. ;
  - Recyclage ou non des eaux de perte de la Cèze

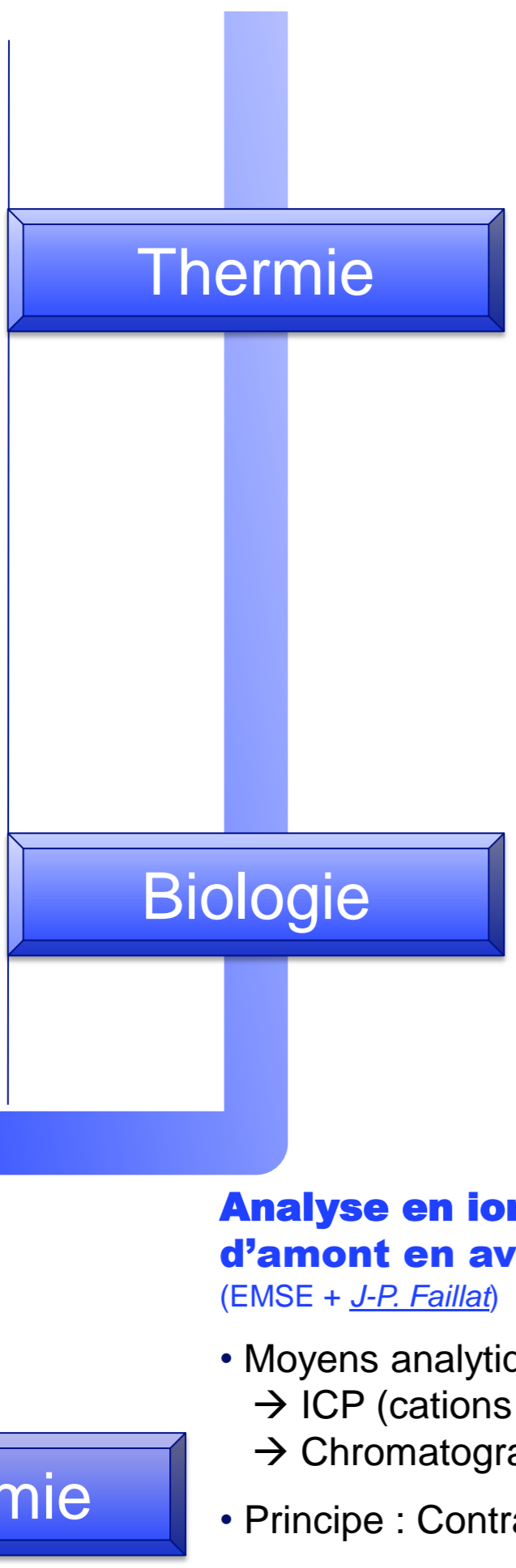


### Partenaires

ZABR



### Méthodologie



#### Imagerie Infrarouge Thermique (IRT) aéroportée (ENS Lyon : V. Wawrzyniak et H. Piegay)

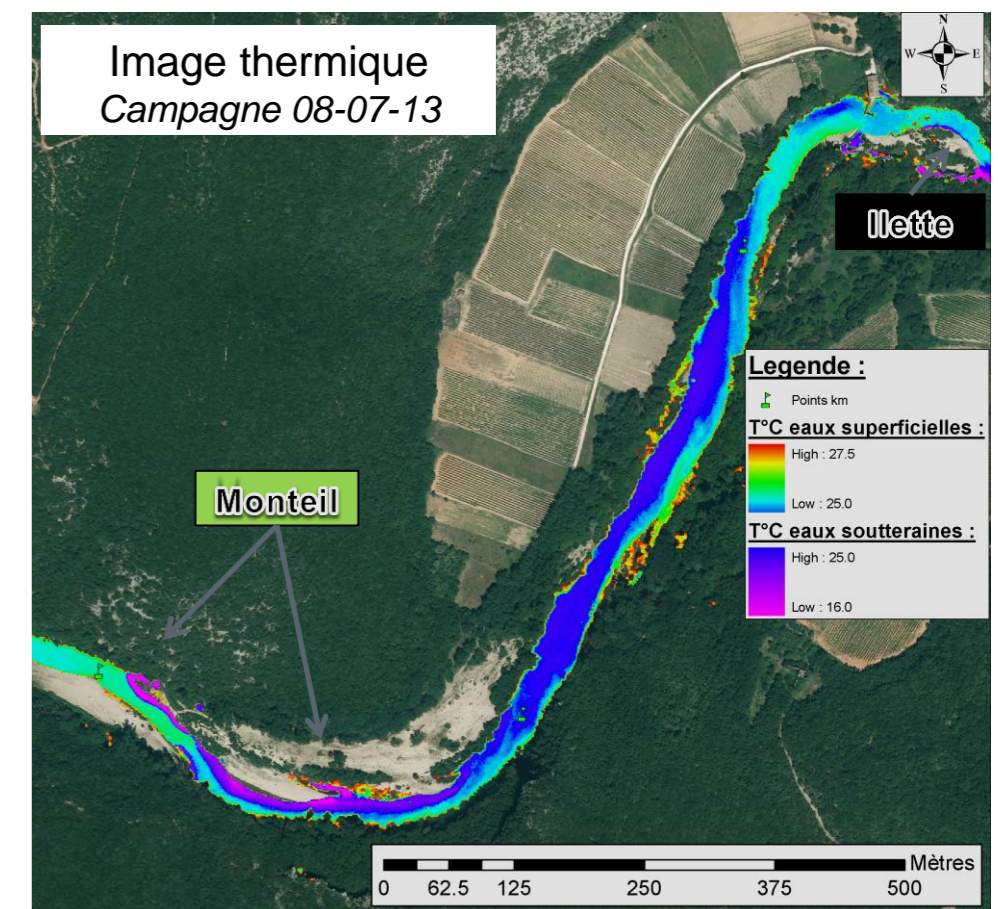
- 3 campagnes d'acquisition réalisées :
  - En hautes eaux **avril 2013**
  - En moyennes eaux **juillet 2013**
  - En basses eaux **septembre 2014**
- Principe : **Contraste de température entre eaux souterraines et eaux superficielles**
  - Localisation des apports souterrains (ponctuels ou diffus)
  - Quantification des apports ?
  - Profils de température amont/aval
  - Variabilité saisonnière des températures



Hélicoptère

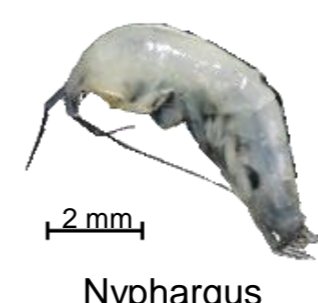


Caméra IRT

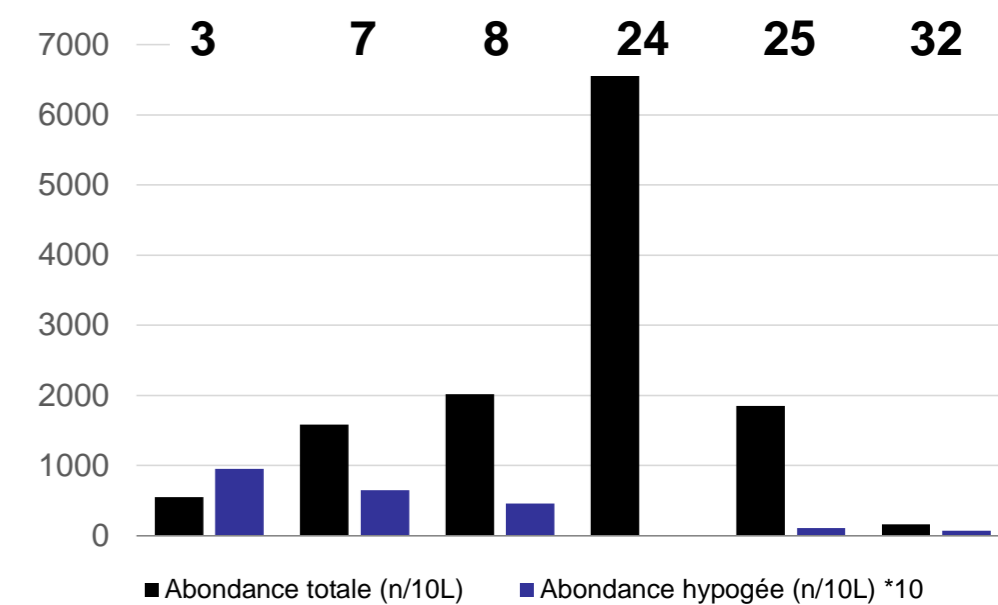


#### Analyse des invertébrés interstitiels (Univ Lyon LEHNA : P. Marmonier)

- Principe : **Utilisation de la faune benthique (épigée) et stygobie (hypogée) pour identifier les zones de mélange entre eaux souterraines et superficielles.**
  - Etablir un pool régional d'espèce (karst et rivière)
  - Etablir un profil longitudinal de la faune interstitielle



Niphargus

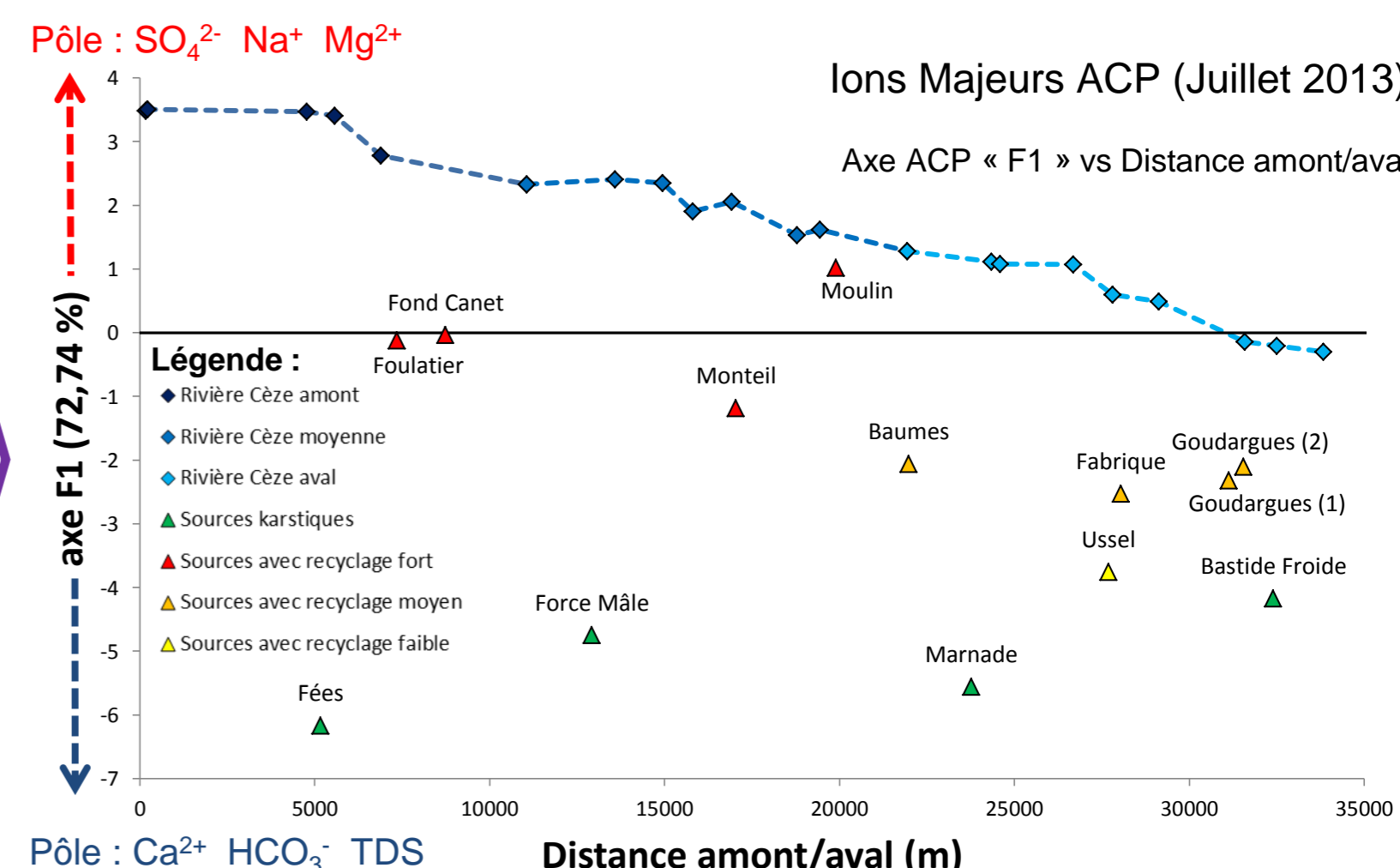


#### Analyse en ions majeurs et éléments traces cationiques de la Cèze d'amont en aval et de ses sources karstiques (EMSE + J.-P. Faillat)

- Moyens analytiques :
  - ICP (cations majeurs et cations traces)
  - Chromatographie ionique (cations et anions majeurs)
- Principe : **Contraste de chimisme entre eaux souterraines et eaux superficielles**
- Objectifs de caractérisation :
  - Définir les **faciès chimiques** des sources karstiques et de la Cèze
  - Identifier l'**évolution chimique** des eaux de la Cèze d'amont en aval
  - Estimer par effet de dilution les débits de sources



Echantillons d'eaux



#### Analyse et modélisation de l'hydrodynamisme local et général (EMSE ; EMA : Anne Johannet et CNRS UMR Espace : J. Jolivet)

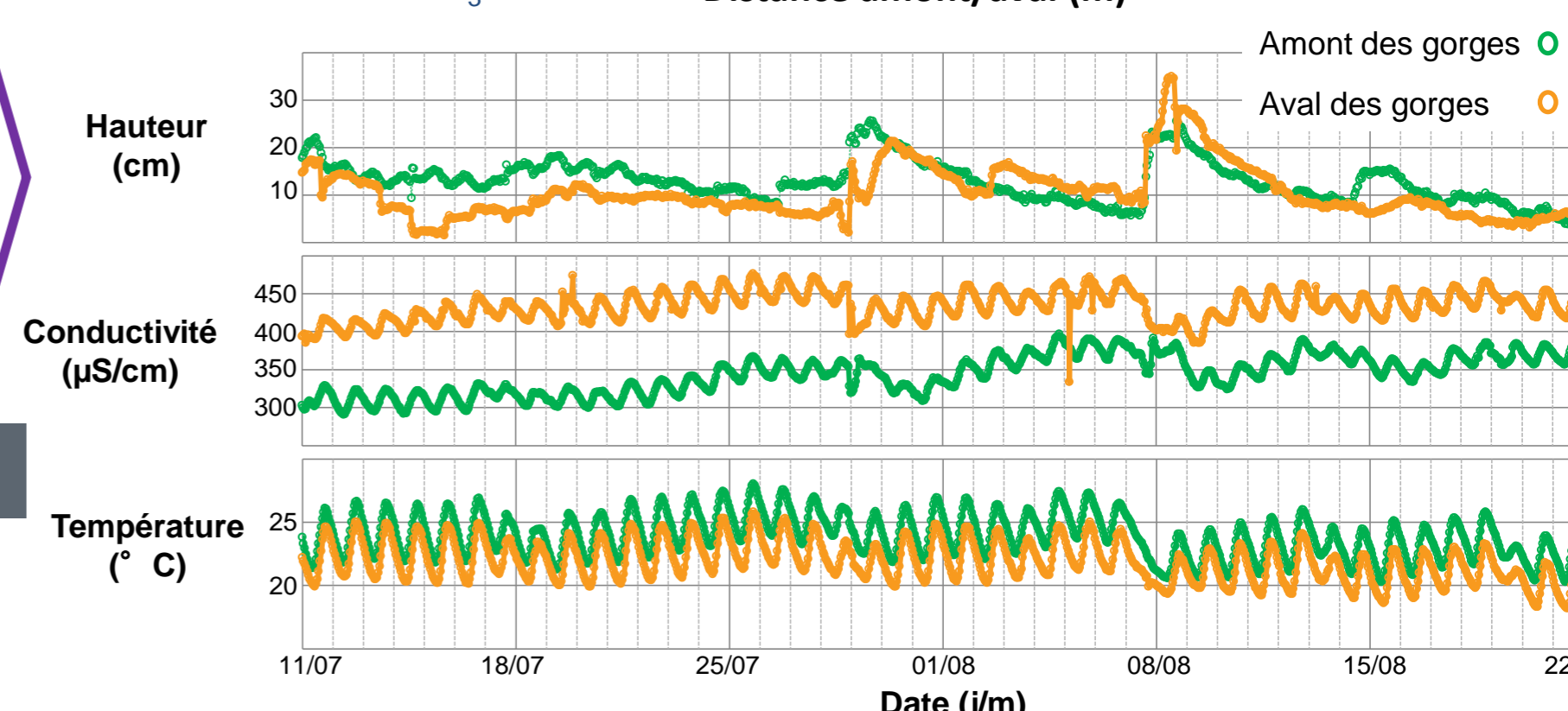
- **Acquisition de données**
  - Pluviométrie (4 points de mesure)
  - Débits (sources et rivière)
  - Conductivité
  - Température
- **Modélisation**
  - Simulation du niveau d'eau de la Cèze à partir de plusieurs stations de mesure par réseaux neuronaux
  - Prédiction



Sonde CTD



Pluviomètre à augets



Novembre 2014 Colloque Institut Mines Télécom

### Caractérisation des échanges Karst/Rivière

## Auteurs

Philippe BREUIL<sup>a</sup>, Jean-Paul VIRICELLE<sup>a</sup>, Christophe PIJOLAT<sup>a</sup>

Axel BART<sup>b</sup>, Ronan COZIC<sup>b</sup>  
Nadine LOCOGE<sup>c</sup>, Nathalie REDON<sup>c</sup>

Valérie HEQUET<sup>d</sup>

<sup>a</sup>EMSE, <sup>b</sup>SRA Instruments

<sup>c</sup>EMD, <sup>d</sup>EMN

## OBJECTIFS

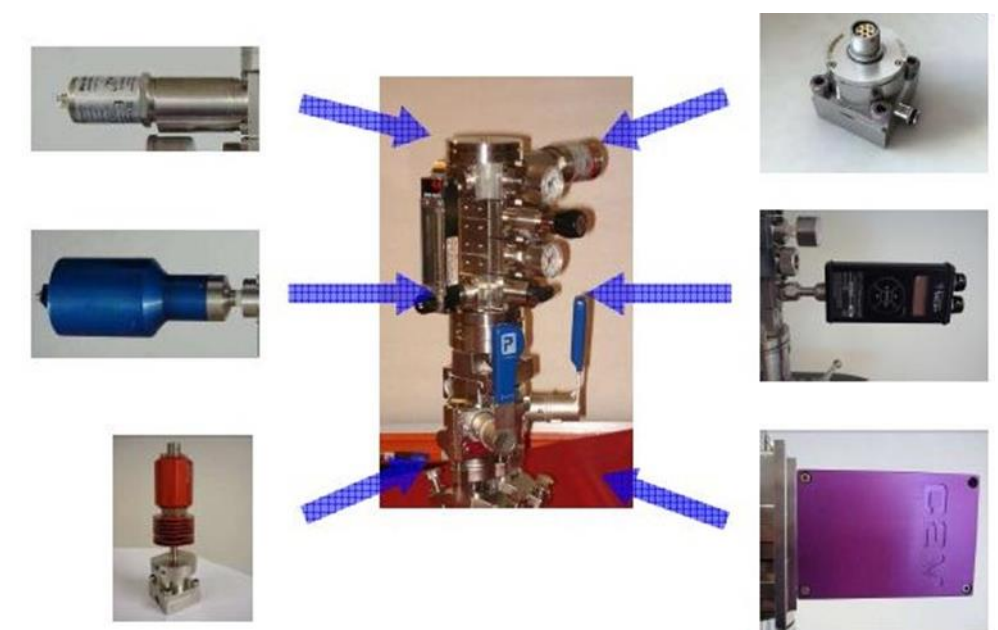
- Développer des analyseurs miniaturisés capteurs ou des systèmes multi capteurs pour le contrôle en ligne de divers procédés :

- Analyseur de type  $\mu$ GC avec préconcentrateur intégré pour analyse de traces dans des procédés industriels, et de VOC dans des atmosphères de travail

### Projet INNOVAL (AXELERA)

- Réseau de capteurs pour contrôle de traitement photocatalytique de l'air

### Projet PHOTOC AIR (CARNOT M.I.N.E.S)

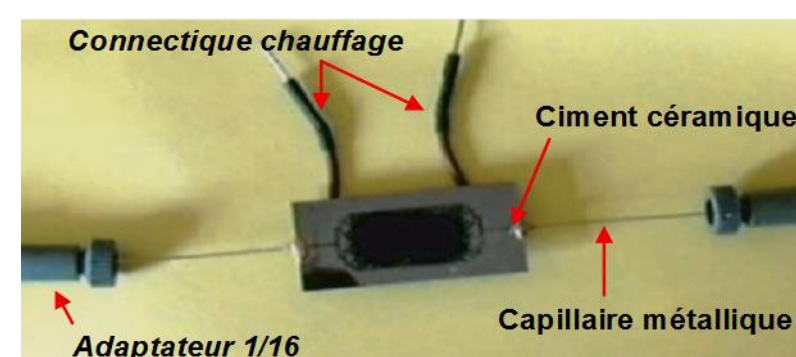


Capteurs miniaturisés au standard « NESSI » implantés sur colonne échantillonnage

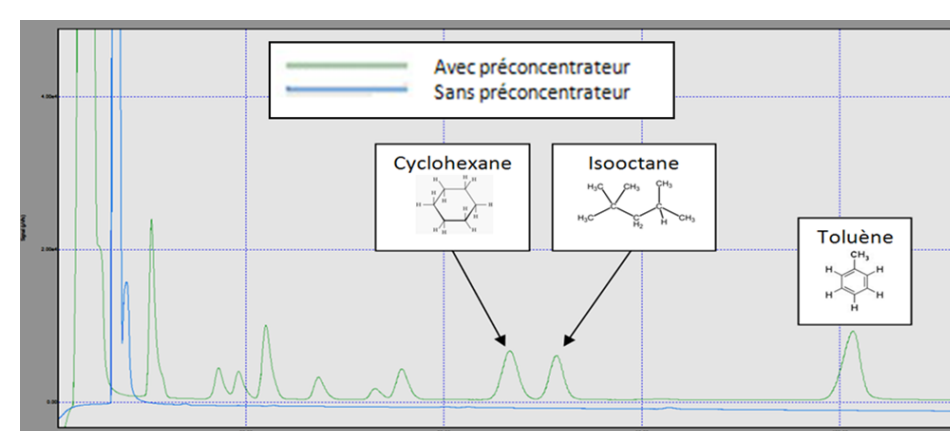
## Partenaires



$\mu$ GC SRA au standard « NESSI »



Préconcentrateur sur silicium EMSE (coll. IMT-EPFL)



Chromatogramme avec/sans Préconcentrateur intégré sur  $\mu$ GC SRA

## Projet INNOVAL : l'instrumentation en ligne au cœur des procédés

### L'analyse $\mu$ GC au standard « NESSI »

- Standard « Nessi » = concept de type « Plug and Play » pour l'instrumentation
- Développement d'un  $\mu$ GC au standard NESSI (SRA)
- Evaluation des performances / dispositifs conventionnels sur gaz utilisés dans des procédés industriels (EMSE)

### Développement de préconcentrateur pour analyse de traces

- Dispositif de préconcentration en amont du  $\mu$ GC, à la place de l'injecteur
- Préconcentrateur : microréacteur en silicium rempli avec adsorbant et muni d'un système de chauffage pour désorption flash.

## Partenaires



## Projet PHOTOC AIR (2013 -2014)

### Elaboration / Validation Réseau de capteurs (EMSE-EMD)

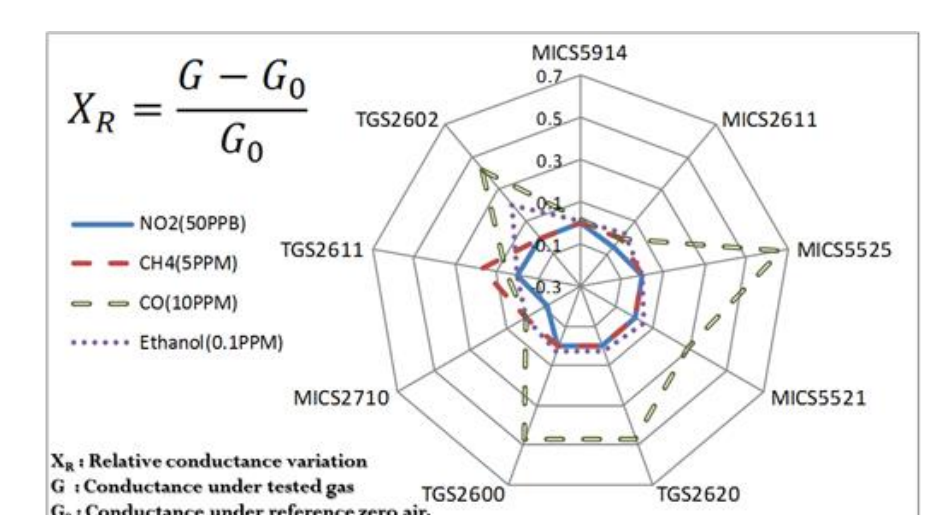
- Choix des capteurs constituant le système multicapteur en fonction des gaz cibles
- Tests des capteurs avec mélange synthétique de gaz



Systèmes multicapteurs (9 gaz + humidité température)

### Etude des performances sur site (EMN-EMSE)

- Evaluation des capteurs en amont/aval de procédés de traitement photocatalytique
- Corrélation des paramètres du procédé / information système multicapteurs → optimisation de l'efficacité du traitement



Evaluation des performances des capteurs (analyse multivariées)

→ Monitoring de la qualité de l'air intérieur pour aspect énergétique des bâtiments





## **4. TIC ET OBSERVATION DE L'ENVIRONNEMENT**





# Évaluation environnementale d'activités spatialement distribuées

## Application à l'écologie industrielle et territoriale



### Auteurs

Guillaume Junqua (Maître-Assistant)  
 Pyrène Larrey-Lassalle (Doctorante)  
 David Salze (Maître de Conférence IMT)

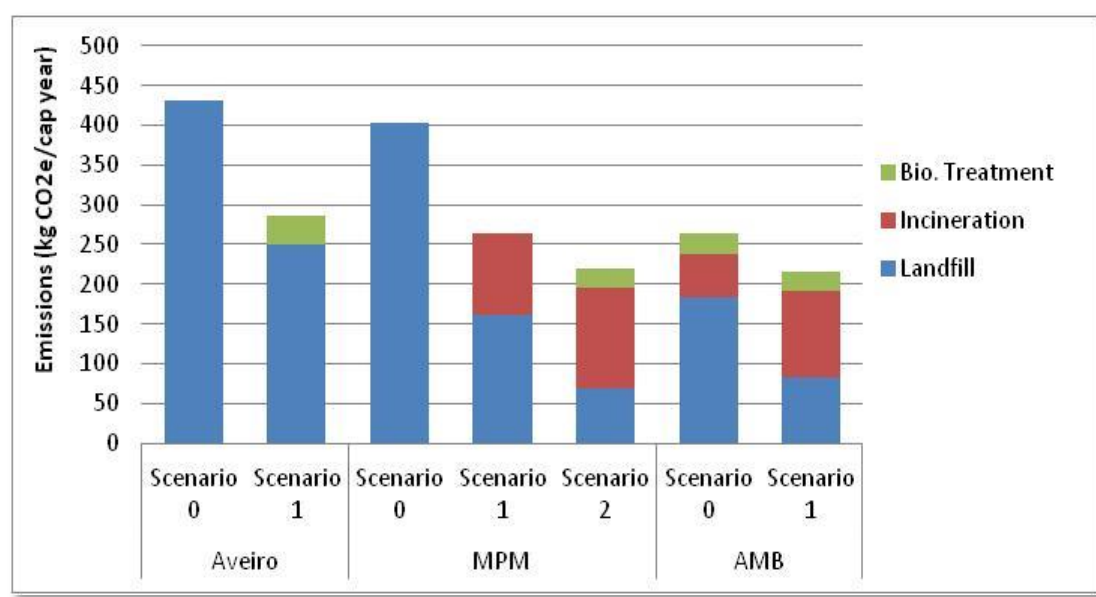
### Réseaux et projets



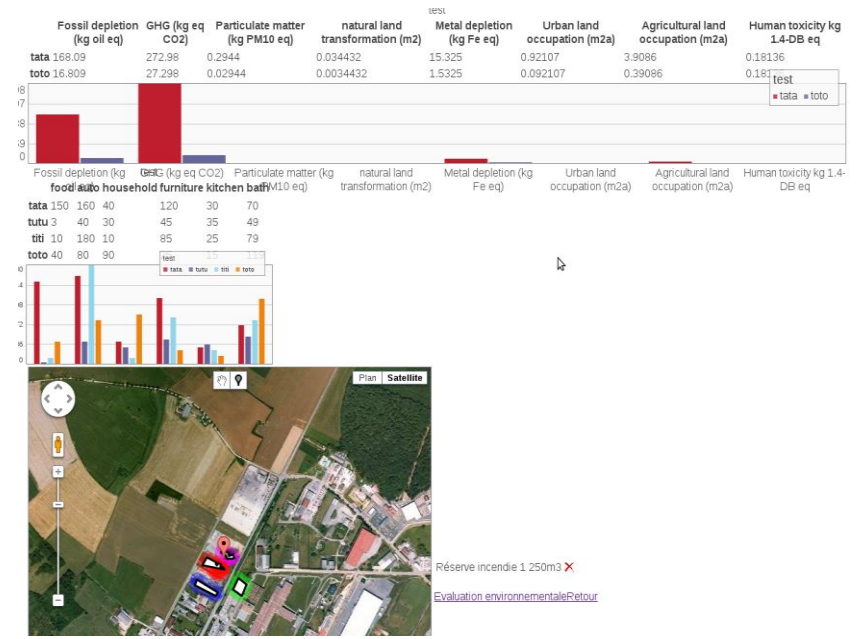
## Écologie industrielle et territoriale

### Opérationnalisation de l'économie circulaire à l'échelle d'un territoire

- Basée sur une optimisation des flux de matière et d'énergie en s'inspirant des systèmes naturels.
- Développement de synergies, de filières et de nouvelles activités permettant de valoriser et recycler localement.
- Différentes échelles spatiales et temporelles d'intervention.
- Comment mettre en cohérence ces différentes échelles et évaluer les actions et les scénarios de développement de filières ou du territoire ?
  - Utilisation de la méthodologie d'analyse de cycle de vie.



Comparaison de scénarios d'élimination des déchets ménagers  
 Application aux villes d'Aveiro (Portugal), de Barcelone (Espagne) et de Marseille



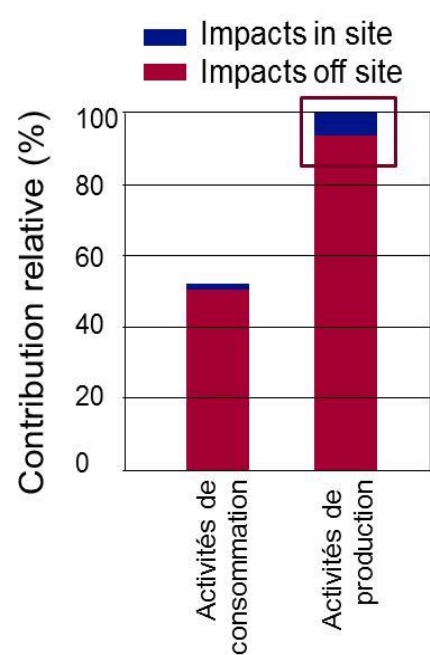
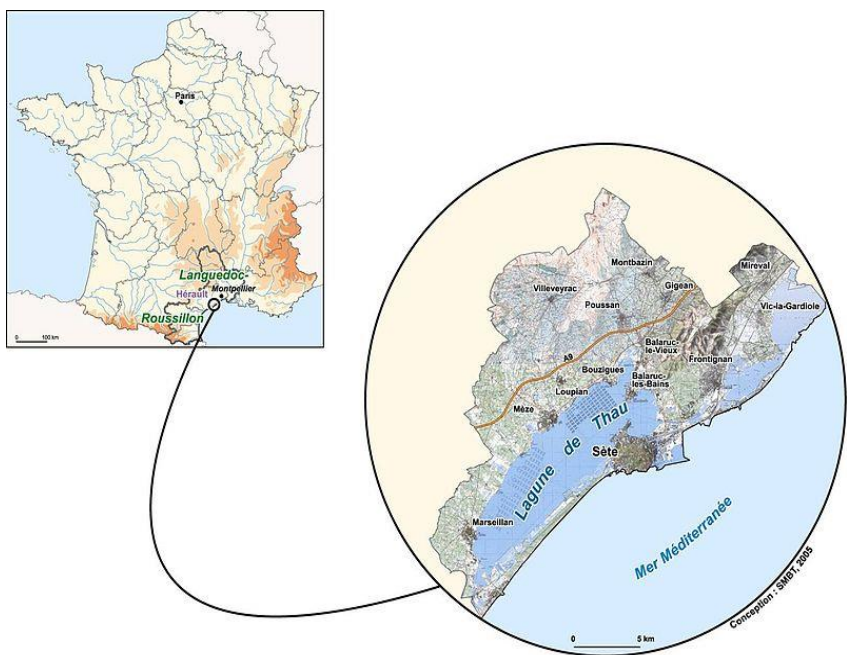
Application à une synergie de mutualisation de stockage additionnel d'eau de défense incendie  
 Rendez-vous sur <http://sudoe.territorialeecology.eu/>

## Projet européen Ecotech Sudoe

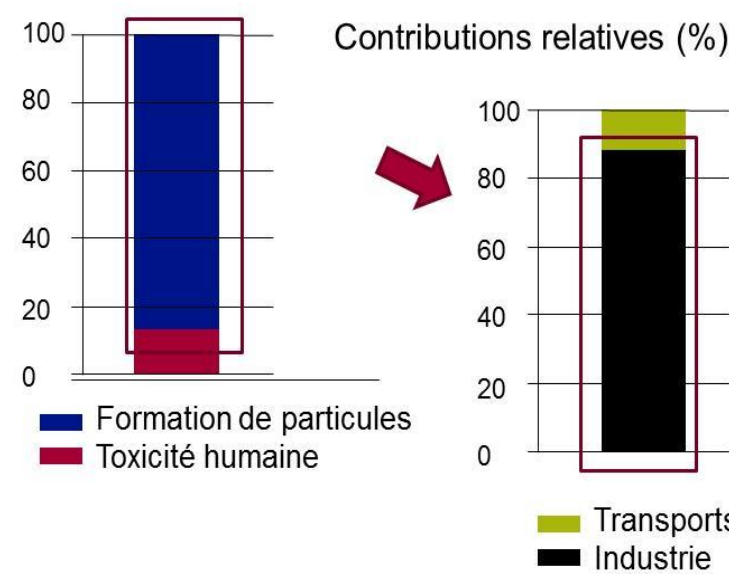
Adaptation et application de l'ACV à différentes échelles spatiales

[www.ecotechsudoe.eu](http://www.ecotechsudoe.eu)

- Synergies industrielles
- Activités tertiaires
- Filières spatialisées
- ACV territoriale



ACV territoriale appliquée au territoire de l'Étang de Thau  
 Quantification des services rendus et des impacts  
 Loiseau, 2014



Ecodesign d'une activité tertiaire  
 Rendez-vous sur <http://www.sustrenovation.eu/>

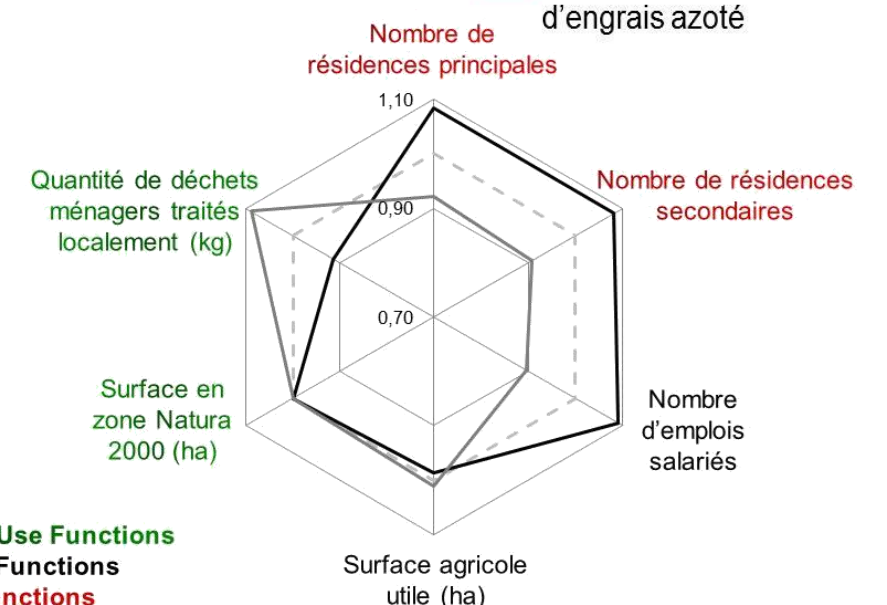
## En perspective...

### Chaire ELSA PACT et Intercarnot INDECO REPIS

- Convergence entre les approches « site » et les approches « produit ».
- Vers une prise en compte des ressources locales en ACV.
- Vers une prise en compte des aspects qualitatifs pour répondre aux besoins du consommateur.
- Définition de seuils d'irréversibilité locaux et globaux.

--- Scenario 1  
 — Scenario 2  
 — Scenario 3

Environmental Land Use Functions  
 Economic Land Use Functions  
 Societal Land Use Functions



## Un enjeu de résilience pour les organisations

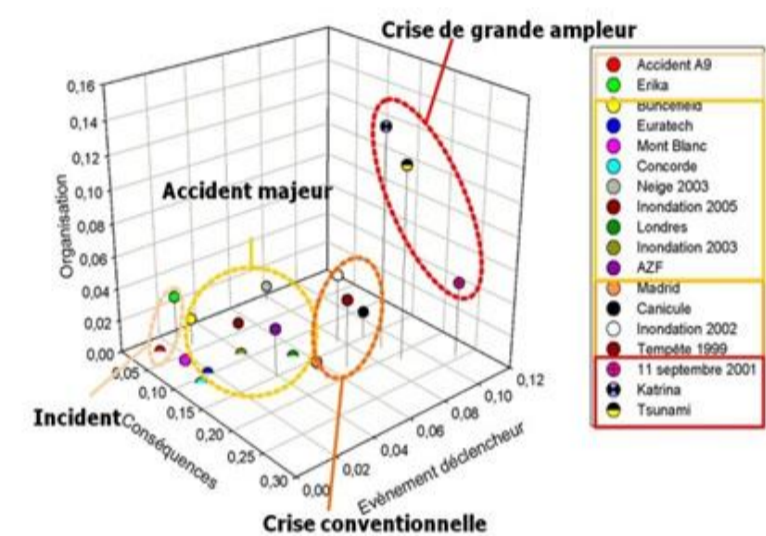
La gestion des crises et des situations exceptionnelles est d'une très grande complexité et nécessite de la part des décideurs et des différents acteurs une capacité d'organisation qui peut être remise à tout moment en cause du fait de la dynamique même de la crise.

Les recherches menées focalisent sur la compréhension, la conceptualisation des situations de crise afin de proposer des modèles, des méthodes et des outils directement en lien avec les besoins opérationnels en situation de crise.

## Une démarche inductive

Partant de la connaissance de l'aléa, elle vise à identifier des méthodes optimales de modélisation de ces phénomènes non linéaires. L'objectif final est la construction de modèles et outils opérationnels de prévision et de gestion de crise.

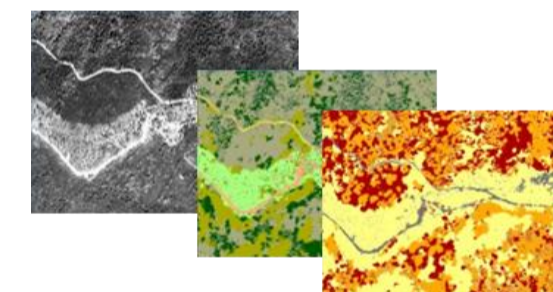
- Gestion de crises de grande ampleur (1 thèse)
- Utilisation des données opérationnelles pour l'aide à la décision en situation d'urgence (2 thèses)
- Amélioration des modèles et outils opérationnels :
  - Prévision des crues (5 thèses)
  - Incendies de forêts (1 thèse)
  - Aléas naturels majeurs (1 thèse)
  - Ambulances communicantes (1 projet FUI)



## Une démarche déductive

Elle trouve son origine dans l'observation directe de la crise au sein de divers services opérationnels afin de conceptualiser les besoins spécifiques des gestionnaires et d'identifier les méthodes et outils permettant de répondre au mieux à ces besoins.

- Géomatique opérationnelle (4 thèses)
  - Utilisation des SIG, GPS, télédétection spatiale THRS pour le compte des opérationnels de la gestion de crise (Services de Prévision des Crues, Sécurité Civile, Services forestiers)
  - Collaborations avec le CNES, les Collectivités Locales, les divers organismes concourant à la Sécurité Civile (SDIS, SIDPC, EMZ)
- Utilisation des Médias sociaux pour la crise (projets en cours de montage)



### Auteurs

Sophie Sauvagnargues  
Pierre-Alain Ayrat  
Aurélia Bony-Dandrieux  
Florian Tena-Chollet  
Jérôme Tixier

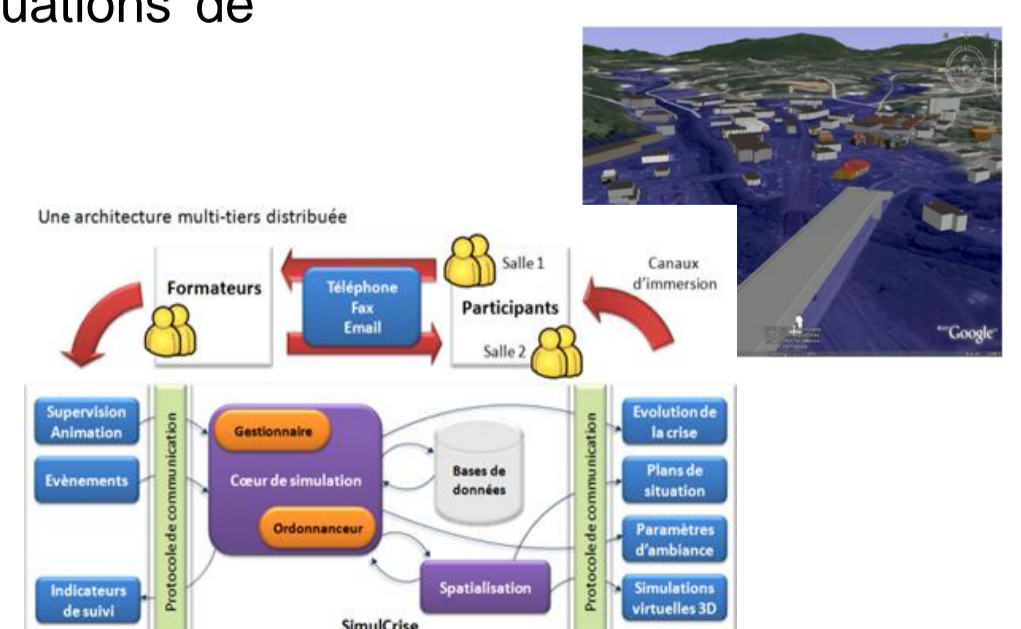
### Partenaires



## Synergie recherche - Formation à la gestion de crise grâce au « LIVING-LAB » de l'ISR

Les formations à la gestion de crise réalisées au sein du simulateur de l'ISR ambitionnent des objectifs intimement liés :

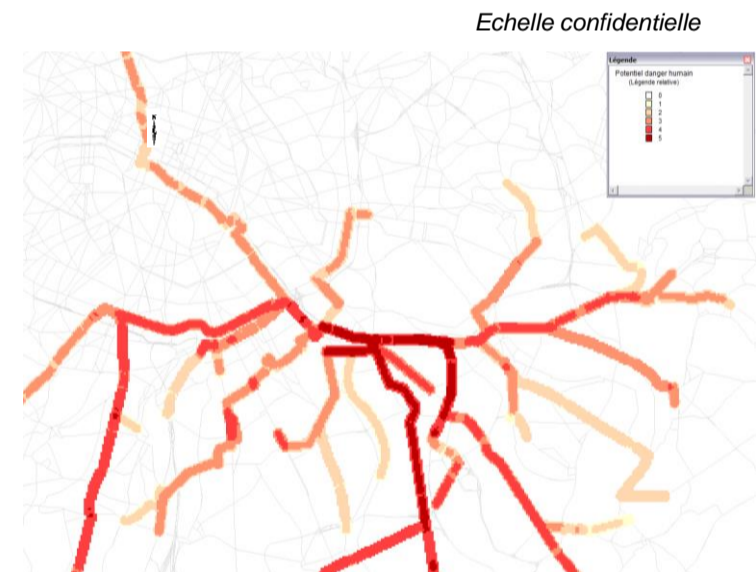
- proposer aux acteurs de la gestion de crise des outils méthodologiques issus de la compréhension des mécanismes et concepts clés mis en œuvre lors des situations de crise
- développer des outils innovants de type « serious game »
- favoriser l'apprentissage et l'acquisition de connaissances lors de nouvelles mises en situation
- Développement d'une méthodologie d'observation et de débriefing pour favoriser l'acquisition de connaissances (1 thèse en cours)
- Scénarisation des exercices (2 thèses en cours)
- Outil de formation à la gestion de crise basé sur la modélisation multi-agents (1 thèse)



## Auteurs

Pierre-Alain Ayrat  
Aurélia Bony-Dandrieux  
Florian Tena-Chollet  
Jérôme Tixier  
Sophie Sauvagnargues

## Partenaires



## Un champ de recherche et d'analyse complexe

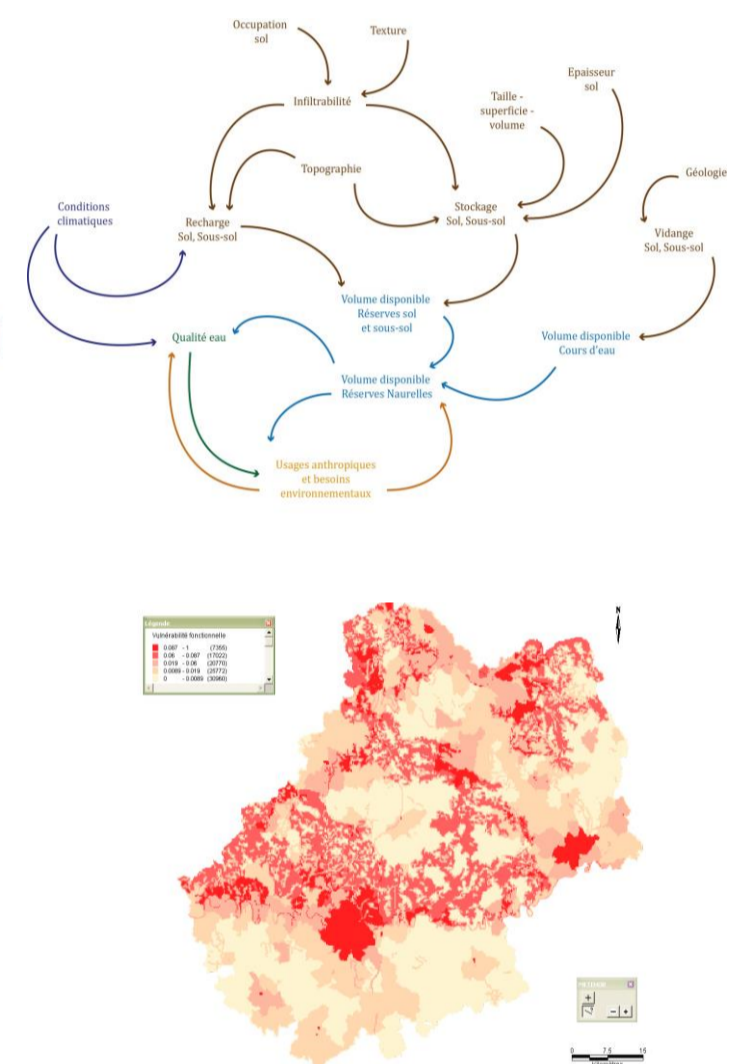
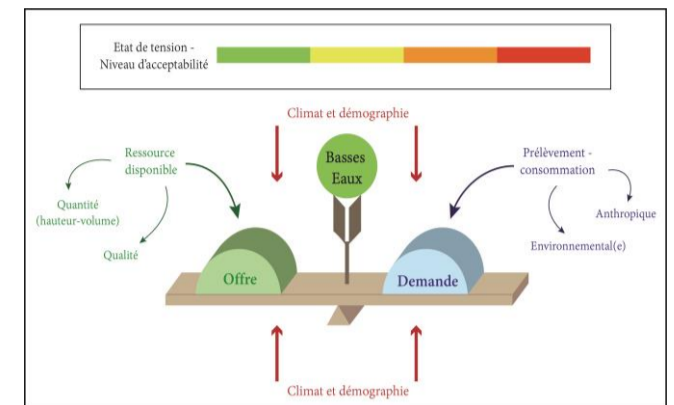
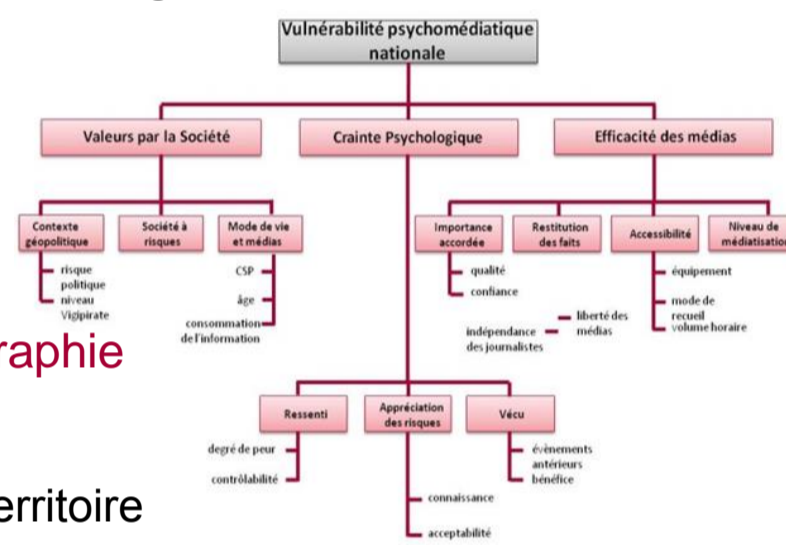
Face à l'émergence d'une demande sociétale de plus en plus prégnante, face à de nouvelles menaces qui pèsent sur nos sociétés de plus en plus complexes et interconnectées, de nouvelles questions se posent sur la vulnérabilité de nos espaces et de nos systèmes. Comment caractériser et spatialiser les espaces vulnérables ? Comment analyser et évaluer les conséquences de la défaillance d'une activité (réseau) essentiel(le) au fonctionnement de la société ?

## Évaluation et modélisation de la vulnérabilité statique : approche semi-quantitative

### Évaluation basée sur des méthodes multicritères d'aide à la décision

L'évaluation des risques sur un territoire nécessite la connaissance de l'aléa auquel il est exposé mais également, l'évaluation de sa vulnérabilité. Pour y répondre, il convient de réaliser une analyse approfondie et structurée des caractéristiques intrinsèques du territoire et de son organisation.

- Formulation du problème
- Structuration et modélisation
- Recueil des avis d'expert
- Évaluation de la vulnérabilité
- Représentation : indicateurs, cartographie



- Vulnérabilité humaine
- Vulnérabilité fonctionnelle d'un territoire
- Vulnérabilité psycho-médiate en cas d'accident industriel
- Comparaison de niveaux de risques d'itinéraires autour de parcours routiers de TMD
- Criticité des basses eaux
- Vulnérabilité d'un territoire soumis aux nuisances olfactives d'une activité industrielle

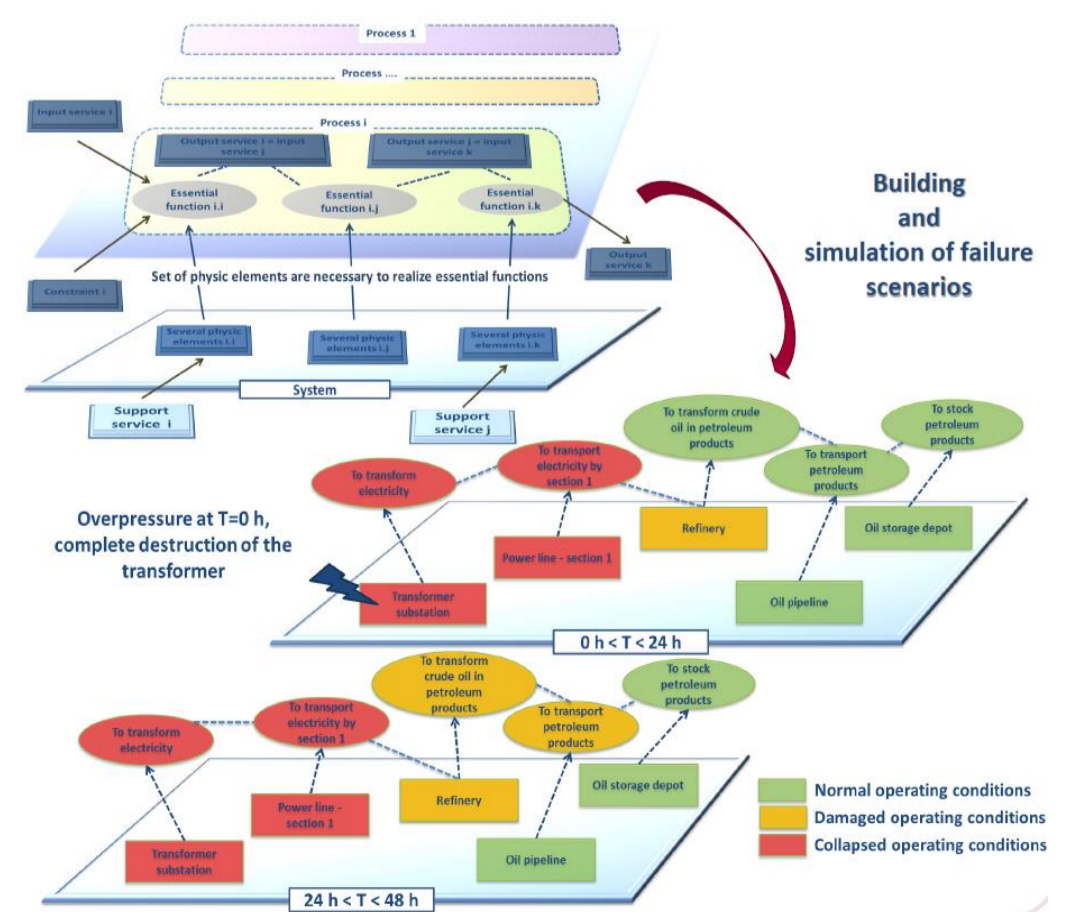
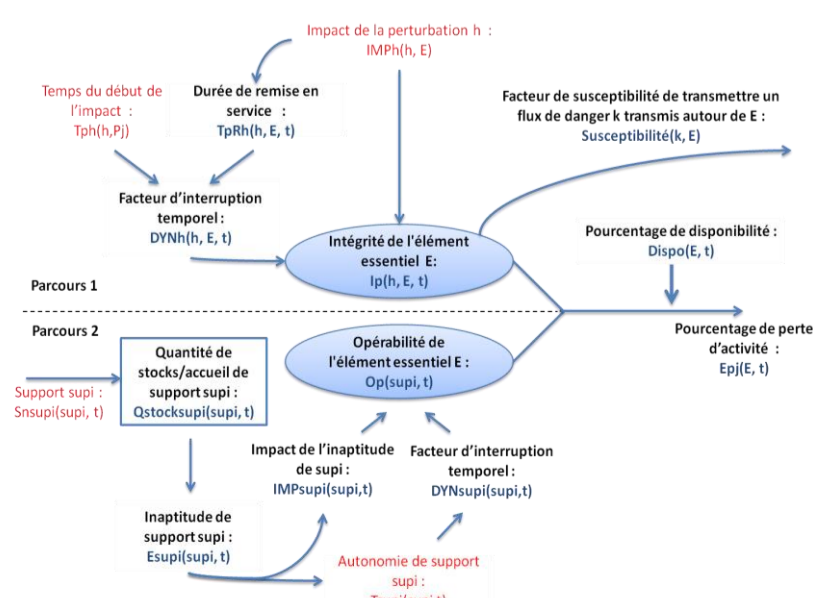
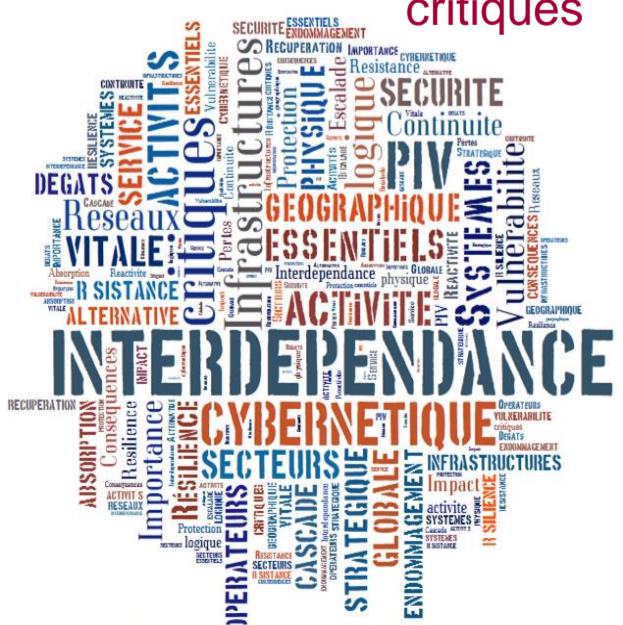
## Étude de la vulnérabilité dans un mode dynamique : modélisation de la propagation des impacts

### Modélisation des interdépendances d'un système et identification des points de vulnérabilité face à une perturbation majeure – Approche systémique

Pour faire face à des événements non souhaités (accidents technologiques, intentionnels, catastrophes naturelles) ; il est impérieux pour un gestionnaire du risque de connaître les conséquences qu'une telle perturbation peut engendrer sur son organisation, son système, son territoire, voire bien souvent même au-delà de son périmètre d'influence.

Il s'agit de modéliser les activités essentielles multi-secteurs d'un territoire, d'une organisation, d'un système technique de façon à identifier ses vulnérabilités et proposer des alternatives/durcissements afin de maintenir un fonctionnement optimal de ce système.

- Définition de la granulométrie à retenir
- Étude des chaînes d'interdépendances et d'interconnexions
- Modélisation spatio-temporelle et reconstitution du système
- Détermination des vulnérabilités / Observation des états critiques



## Surveillance et observations de l'estuaire de la Loire

### Auteurs

F. Boyer  
C. Gégout  
A. Hazotte  
C. Merignac  
B. Reeves  
A. Abdelouas  
J. Champion  
C. Landesman  
O. Péron  
G. Montavon

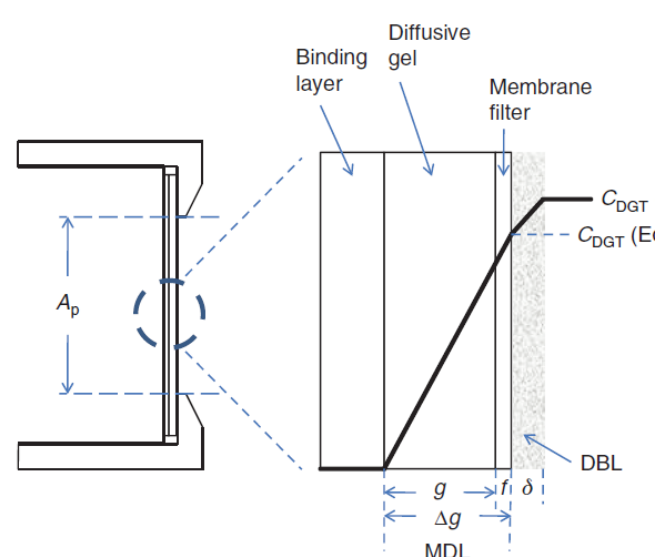
### Partenaires



NEEDS

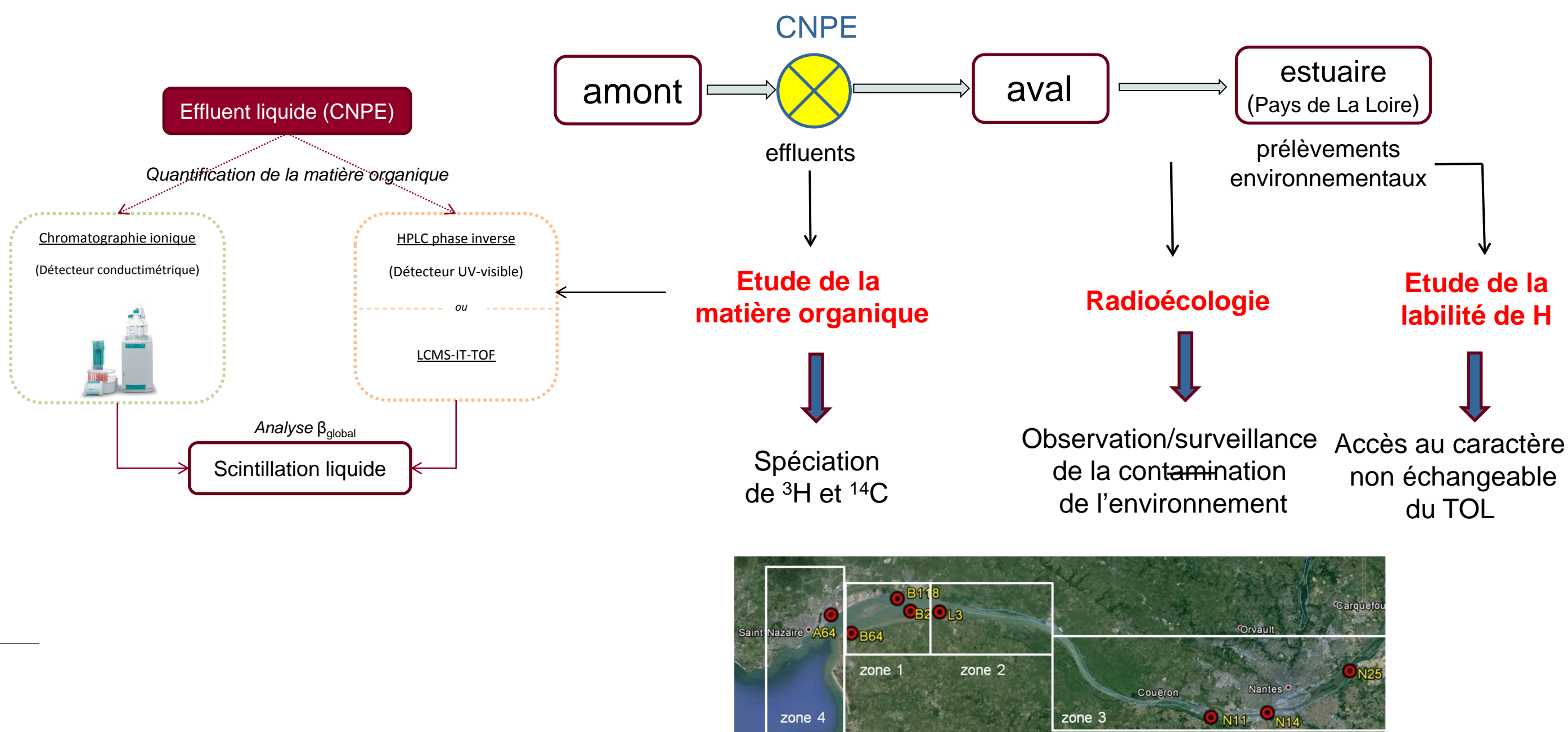


DGT pour solution

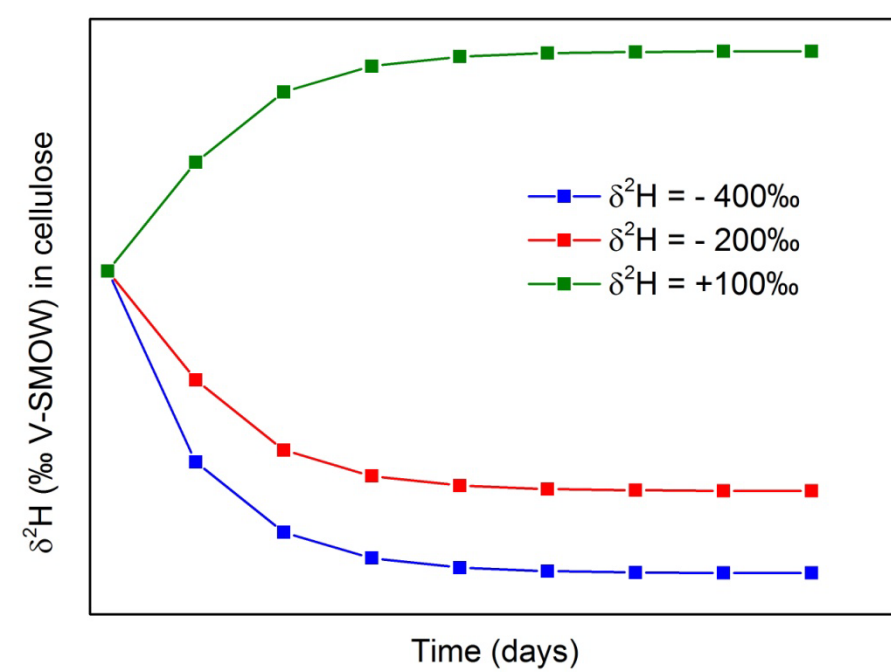


DGT pour sédiment

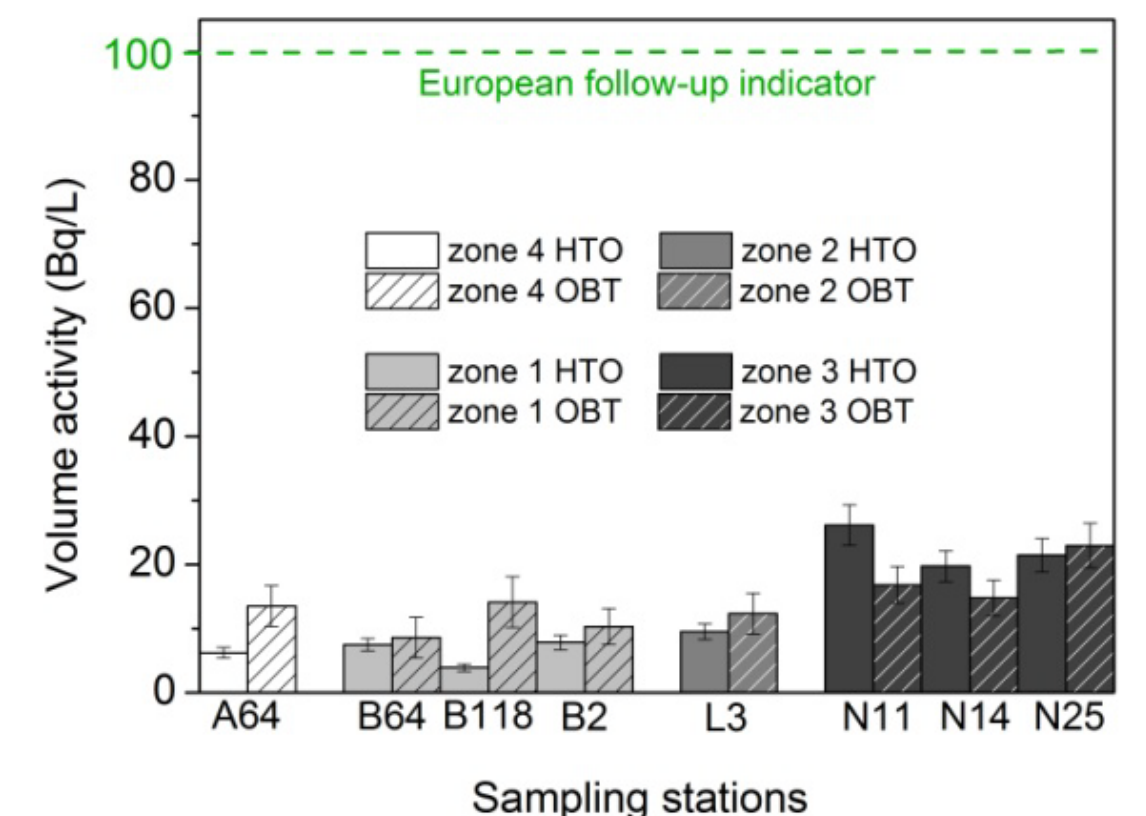
Extraction et concentration *in situ* de la concentration d'espèces dissoutes « labile » en trace dans les eaux naturelles (douces, marines), les sols et les sédiments.



Zones d'études dans l'estuaire de La Loire et localisations des stations de prélèvements environnementaux.



Cinétique d'échange des ions hydrogène avec une atmosphère deutérée



Activités volumiques mesurées dans les eaux de lyophilisation et de combustion des prélèvements solides

## Méthode *in situ* de dépollution des sols

Un travail de dépollution des sols s'est focalisé sur la **phytoremédiation** associée à la **bioaugmentation** du **Cs 137** dans un système modèle composé d'illite.

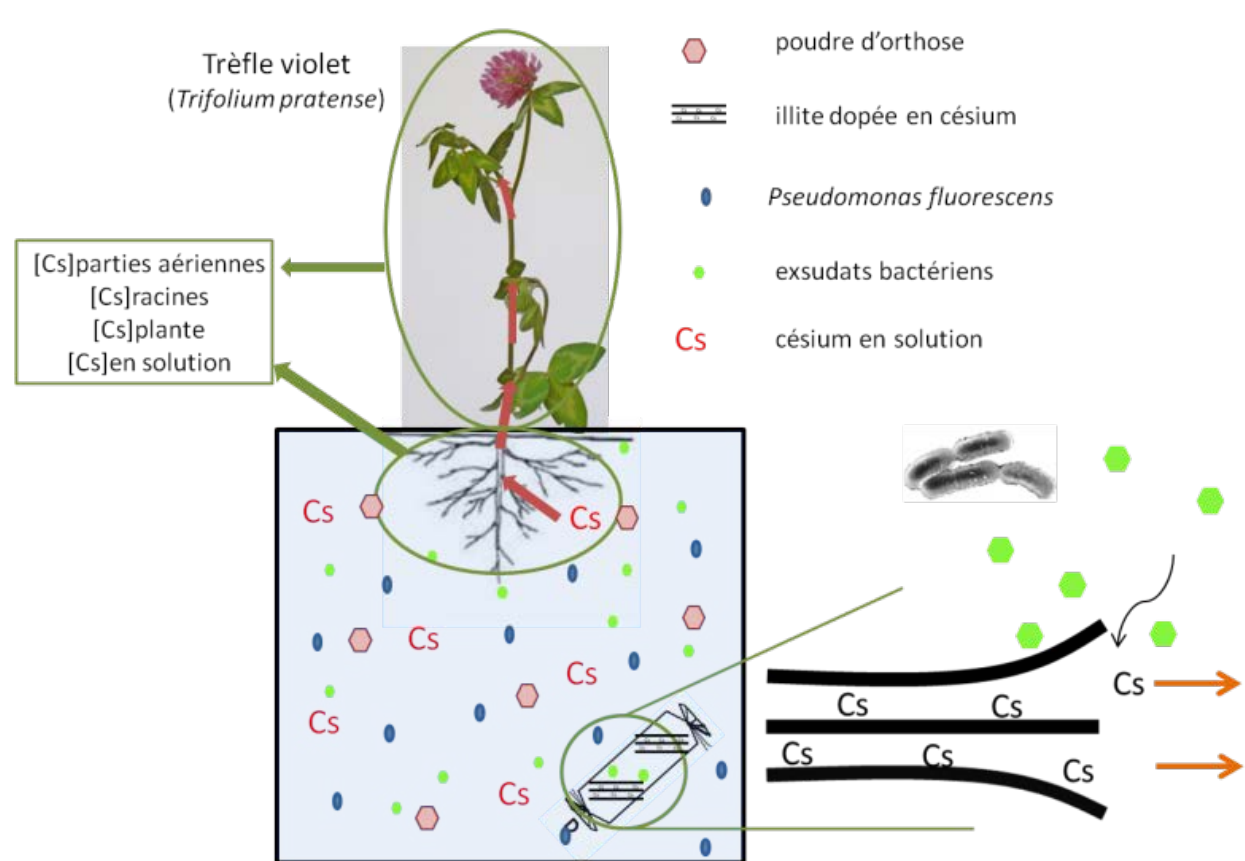
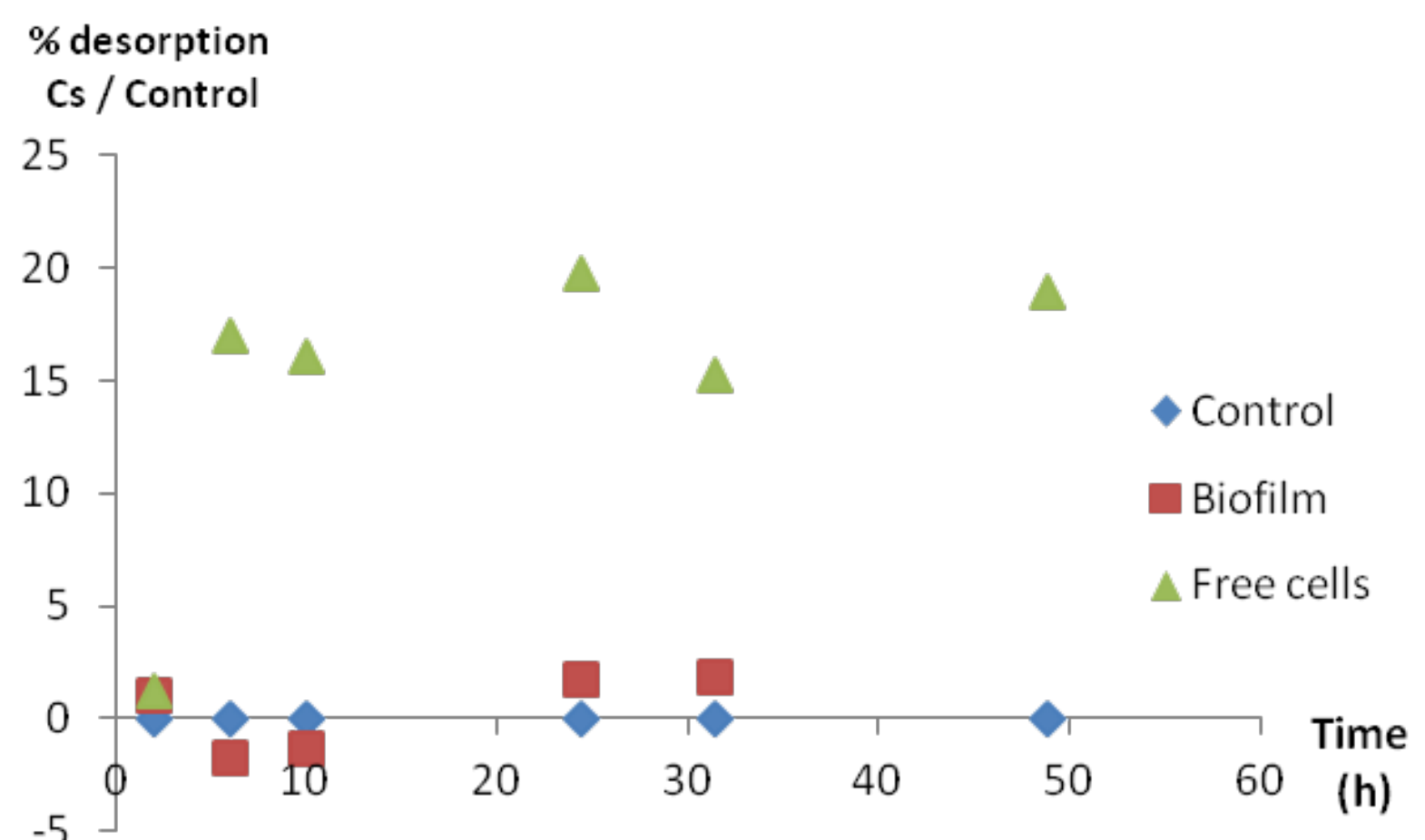


Schéma conceptuel du dispositif complet illite-Cs-bactéries-plant



% de désorption du césium d'une illite dopée à 1mM par action des bactéries *Pseudomonas fluorescens* en configuration membrane de dialyse (Free cells) et en contact direct avec l'illite (Biofilm)

## Parties prenantes



## Auteurs

Isabelle Cojan  
Thomas Gillot

Partenaire:  
David Badía-Villas

## Partenaires



## PALEOCLIMATOLOGIE et DOMAINE CONTINENTAL

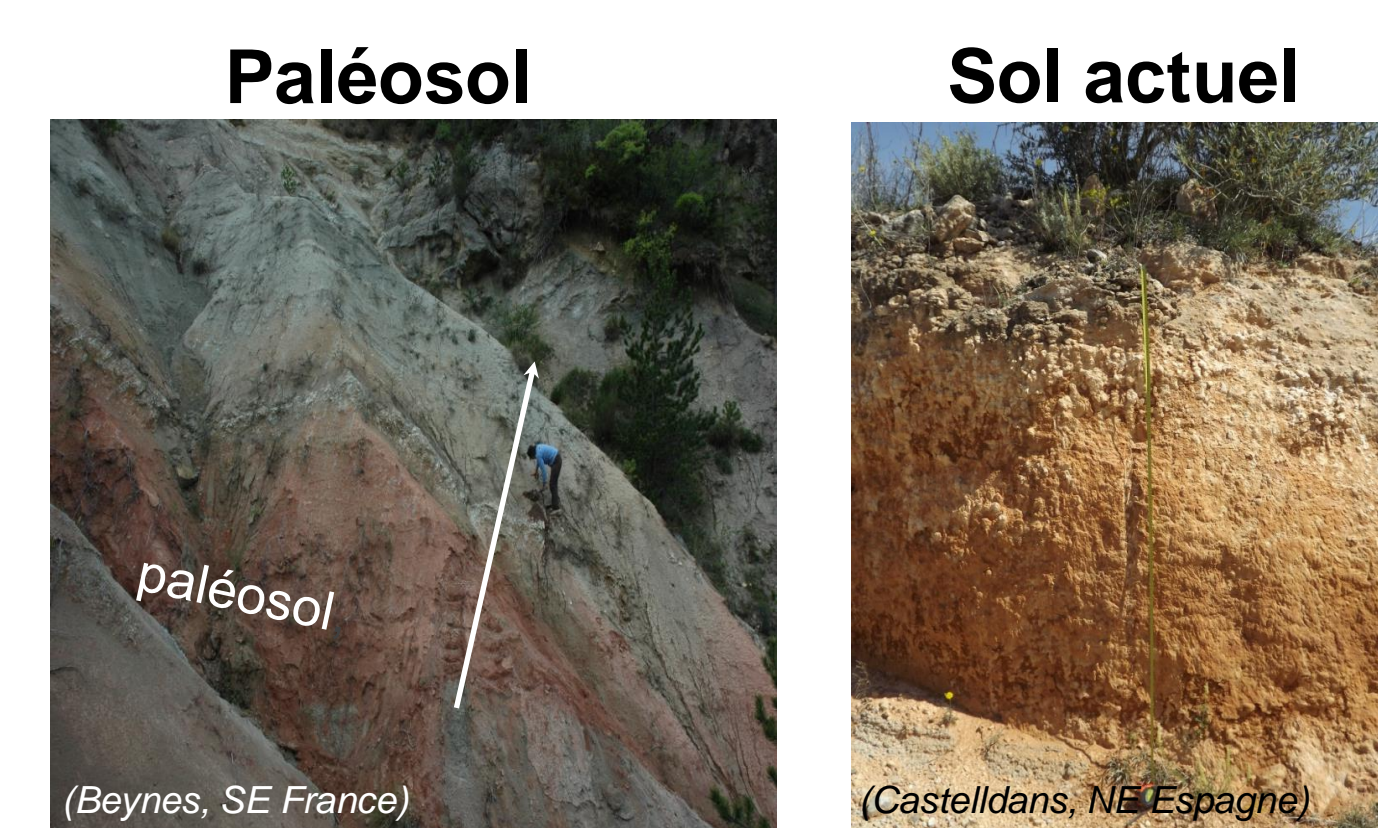
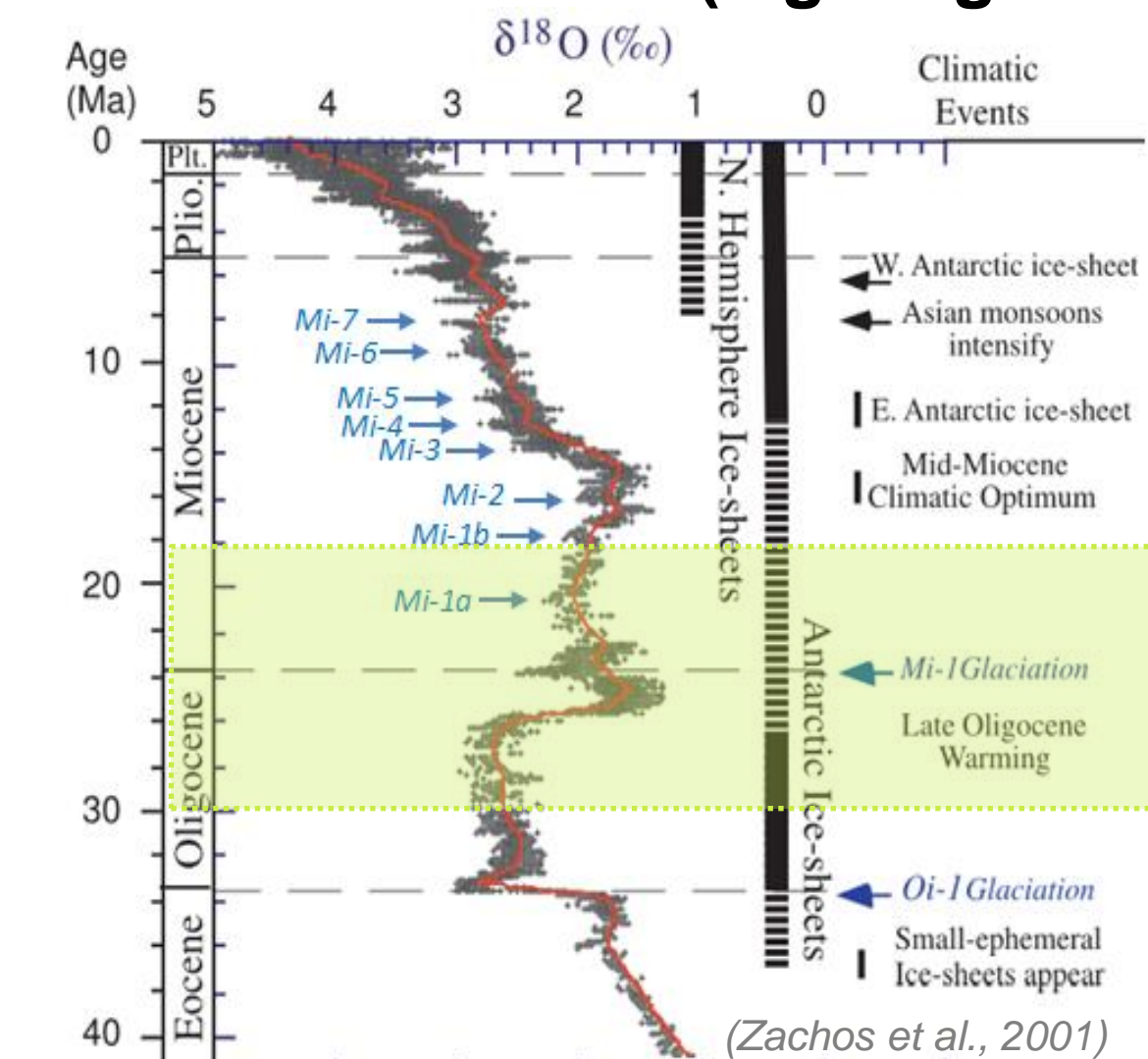
### Intérêts de la paléopédologie

■ Dans un contexte où les problématiques autour du changement climatique sont au cœur des préoccupations sociétales, l'étude de l'histoire du climat et de sa dynamique est devenue un axe de recherche scientifique majeur.

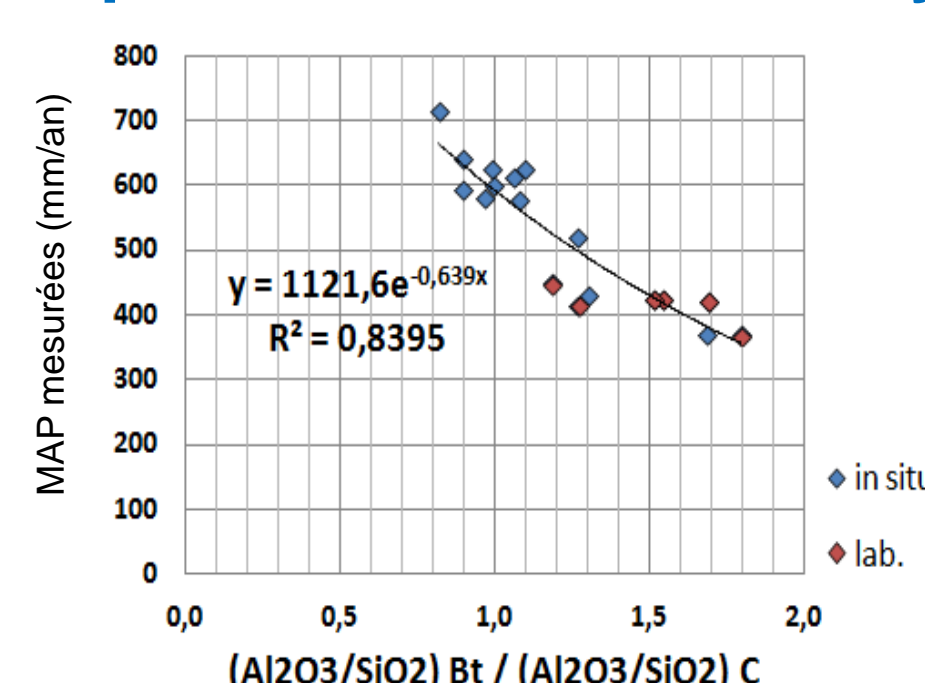
■ Si les séries sédimentaires continentales présentent généralement un enregistrement plus parcellaire du signal qu'en domaine marin, leur connaissance permet de mieux contraindre les modélisations climatiques et plus particulièrement les couplages océan/atmosphère.

■ Évaluer les paramètres paléoclimatiques (températures et précipitations) à partir des données morphologiques et géochimiques issues des paléosols constitue un enjeu pour lequel l'équipe Géologie a développé de nouveaux outils.

### Données marines (signal global)



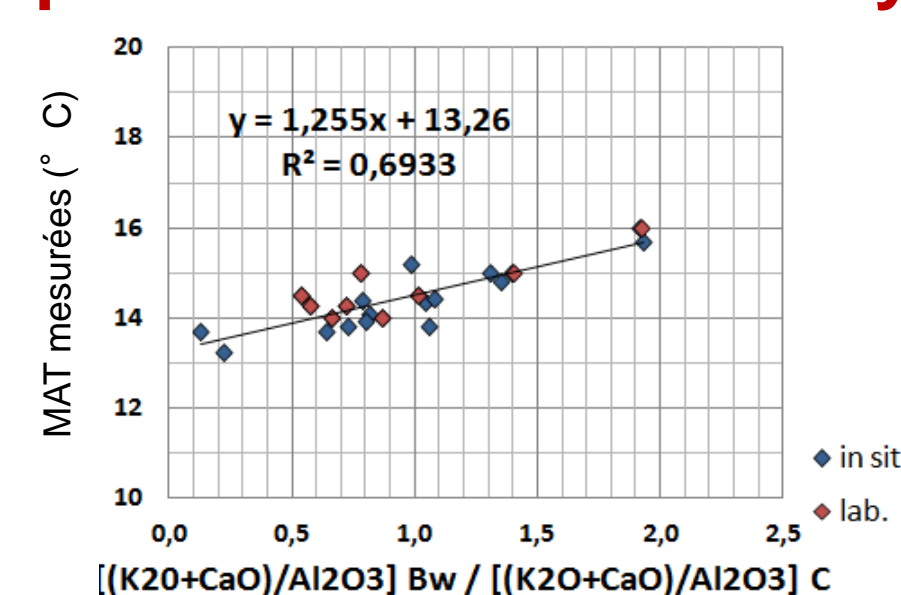
### Précipitations annuelles moyennes



$$MAP = 1121,6 \exp [-0,639 \times (Al_2O_3/SiO_2)_{Bt/C}] \pm 184, r^2 = 0,84$$



### Températures annuelles moyennes



$$MAT = 1,255 [(CaO+K_2O)/Al_2O_3]_{B/C} + 13,26 \pm 1, r^2 = 0,69$$

## CLIMOFONCTIONS

### Mesures en laboratoire et *in situ*

■ De nouvelles climofonctions basées sur les teneurs et distributions des éléments majeurs au sein des profils des calcisols sont proposées à partir de l'analyse d'analogues actuels du Nord-Est de l'Espagne.

■ Celles-ci prennent en compte la forte hétérogénéité des dépôts soumis à l'altération, en comparant la composition des horizons de subsurface à la partie superficielle du matériau parental.

■ Elles apportent la possibilité d'estimer les températures et les précipitations annuelles moyennes, y compris à partir de paléosols tronqués par l'érosion, fréquents dans les séries fossiles.

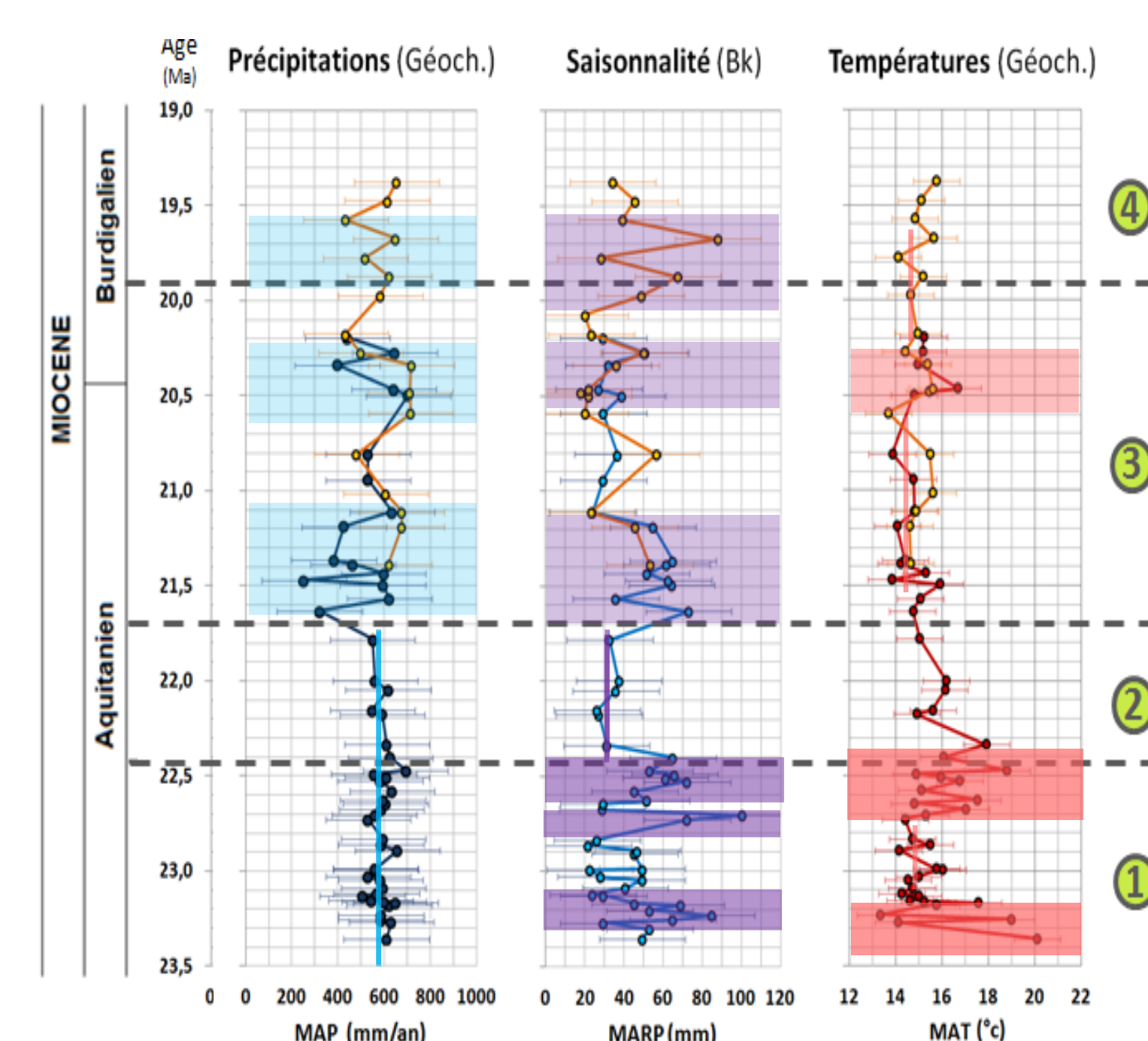
## RESTITUTION CLIMATIQUE entre 20 - 17 Ma

### Instabilités lors de la croissance de la calotte antarctique

■ La mise en évidence pour la période étudiée d'un climat assez chaud à fort contraste saisonnier de précipitations n'est pas sans rappeler celui de la Méditerranée occidentale actuelle.

■ Une telle conclusion a de fortes implications sur la compréhension de la dynamique de la biodiversité contemporaine qui n'est pas toujours suffisamment cernée par les fossiles pour des raisons taphonomiques.

■ Un outil utilisable à d'autres périodes de temps pour restituer les fluctuations climatiques haute fréquence.



## Parties prenantes



## Auteurs

Thomas Romary<sup>1</sup>  
Chantal de Fouquet<sup>1</sup>  
Laure Malherbe<sup>2,3</sup>  
1MINES ParisTech  
2INERIS  
3LCSQA

## Introduction

Mapping air pollution as precisely as possible is a major issue for French Local Air Quality Monitoring Agencies (AASQAs) both for regulatory and information purposes and for public health concerns.

**Concentration maps** can be obtained from passive sampling data collected at a large number of sites across the area of interest.

The interpolation is performed by **kriging**, see e.g. Chilès and Delfiner [2].

Kriging provides a prediction error variance that can be seen as a quality criterion of the resulting maps. As it only depends on the spatial repartition of the points over the domain, it is a straightforward **quality criterion** for a **sampling design**, once a geostatistical model has been fitted [4].

## Objectives

- Build a quality criterion of the sampling design accounting for covariates and model parameters variability,
- Design and compare two algorithms to optimize this criterion,
- Provide a tool to determine the size of the network.

## Modelling

$Z$ , the atmospheric concentration of the pollutant is modelled as follows:

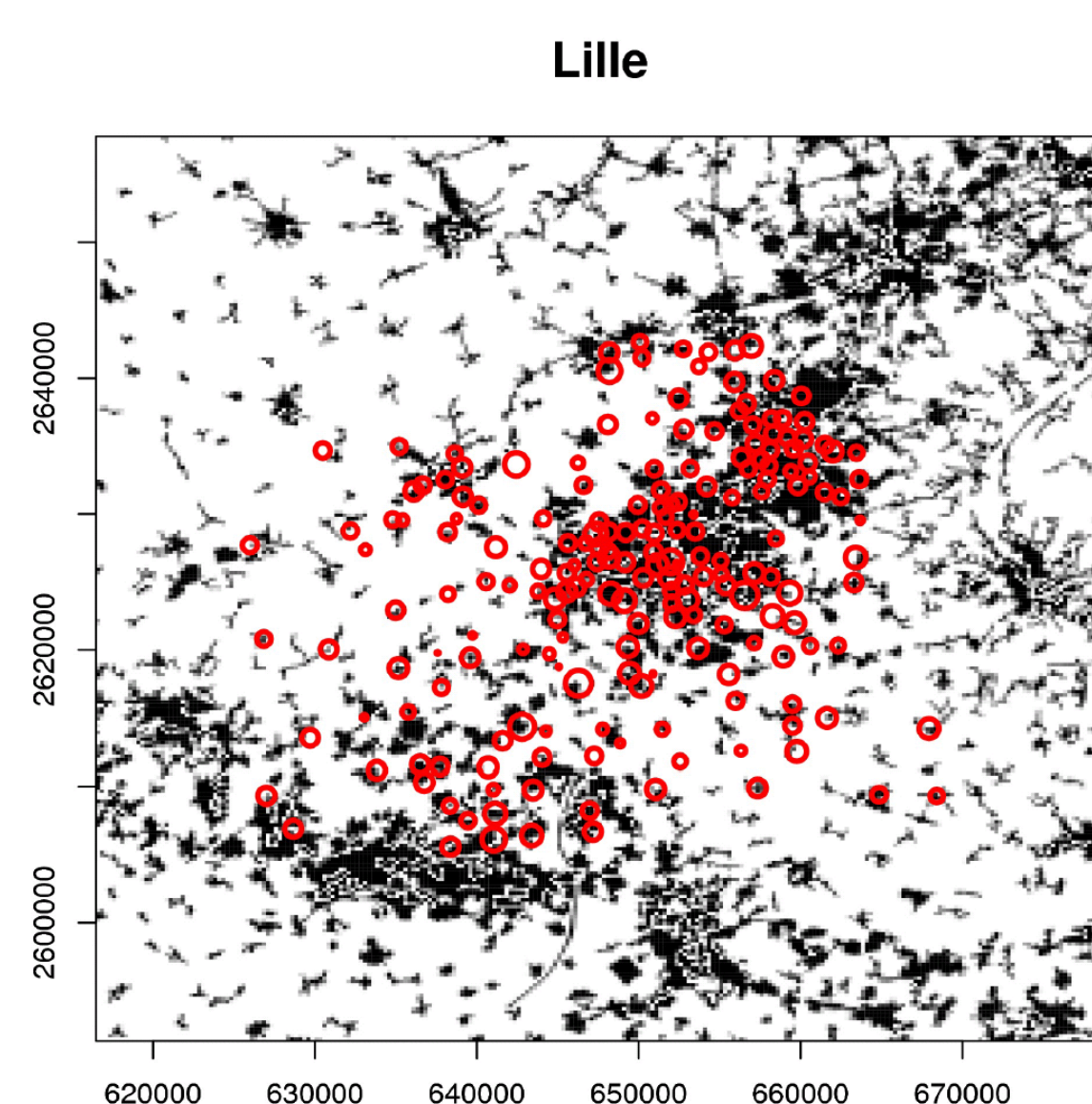
$$Z(x) = \beta_0 + \beta^T Y(x) + S(x)$$

where

- $x \in \mathcal{X} \subset \mathbb{R}^2$  is the spatial coordinate,
- $(\beta_0, \beta)$  is a vector of parameters,
- $Y$  stands for the vector of covariates,
- $S(x)$  is a centered, spatially correlated residual.

## Estimation

An analysis of the data collected during previous surveys is performed in order to fit the model above (covariates and covariance). Data from benzene sampling surveys conducted in two French cities (Lille and Reims) were available.



Sampling design for Lille campaign

**Urban fabric proportion** and **population density** have been found significant as covariates.

The following covariance model has been fitted for  $S$

$$C(|h|) = \theta_1(1 + \mathbb{1}_{\{Y_1(x) > m_1\}}) \mathbb{1}_{\{|h|=0\}} + \theta_2(1 - \frac{|h|}{R})$$

where

- $R = \max_{(x,y) \in \mathcal{X}^2} (|x - y|)$ ,
- $Y_1$  stands for the population density,
- $m_1 = 4.7$  is its median over the domain,
- $\theta_1$  and  $\theta_2$  are two varying parameters.

## Criterion Building

The **quality criterion** of the **sampling design**  $\eta$  is defined from the set up model by the integral of the **weighted prediction error variance** over the domain under study and over the range of the **varying parameter**  $\theta = (\theta_1, \theta_2)$

$$O(\eta) = \frac{1}{|\mathcal{X}|} \int_{\Theta} \int_{\mathcal{X}} \mathbb{V}(Z(x) - \hat{Z}(x)|\theta) w(x) p(\theta) dx d\theta$$

where

- $|\mathcal{X}|$  is the surface of  $\mathcal{X}$
- $w(x)$  is a non uniform weight function, designed to obtain a more accurate mapping e.g. in densely constructed and highly populated areas
- $\theta = (\theta_1, \theta_2) \in \Theta$  is the uncertain parameter
- $p(\theta)$  is its associated prior

## Optimization algorithms

### Algorithm 1 Simulated annealing (SA, see [3])

```

Generate  $\eta_0$ 
for  $i = 1 \dots N$  do
  Simulate  $\zeta$  from  $q_{\eta_{i-1}}$ 
  Simulate  $u \sim \mathcal{U}_{[0,1]}$ 
  if  $u < \alpha = \min(\exp(\frac{O(\eta_{i-1}) - O(\zeta)}{T}), 1)$  then
     $\eta_i = \zeta$ 
  else
     $\eta_i = \eta_{i-1}$ 
  end if
  Decrease  $T$ 
end for

```

### Algorithm 2 Interacting particle algorithm (IPA, inspired by [1])

```

Generate  $\eta_0^{(1, \dots, n)}$ 
for  $i = 1 \dots N$  do
  for  $j = 1 \dots n$  do
    Simulate  $\tilde{\eta}_i^{(j)}$  from  $q_{\eta_{i-1}^{(j)}}$ 
  end for
  Select the  $n/2$  best particles  $\tilde{\eta}_i^{(1, \dots, n/2)}$ 
  Generate  $\eta_i^{(1, \dots, n)}$  by resampling  $\tilde{\eta}_i^{(1, \dots, n/2)}$  with weights
   $\exp(-O(\tilde{\eta}_i^{(j)})) \times \Delta(\tilde{\eta}_i^{(j)})$ 
end for

```

where  $\Delta(\eta)^{(j)}$  is a distance between  $\eta$  and  $\eta_i^{(-j)}$

We use the following **propositional kernel**

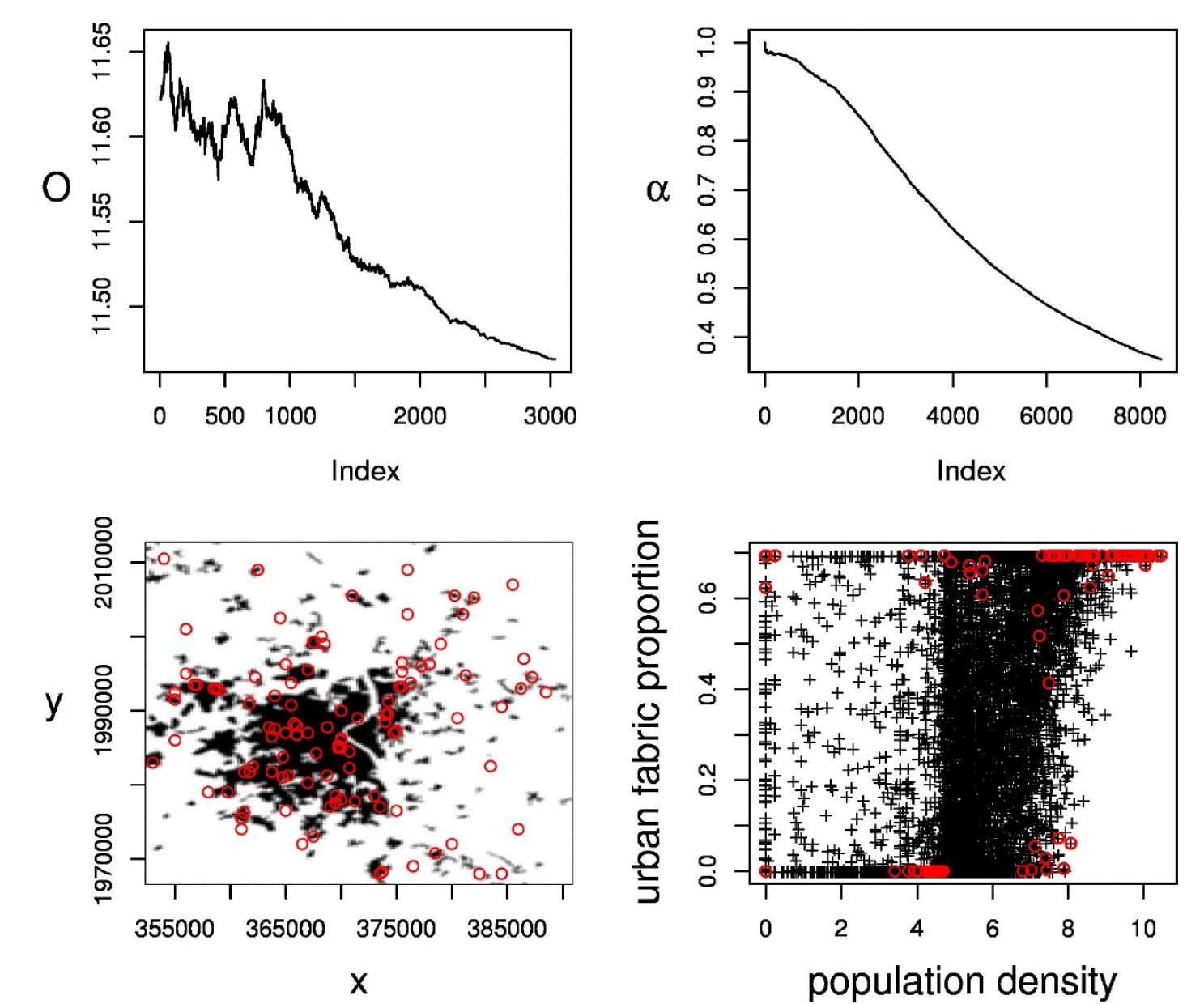
$$q = pq_1 + (1 - p)q_2, \quad p \in [0, 1]$$

where

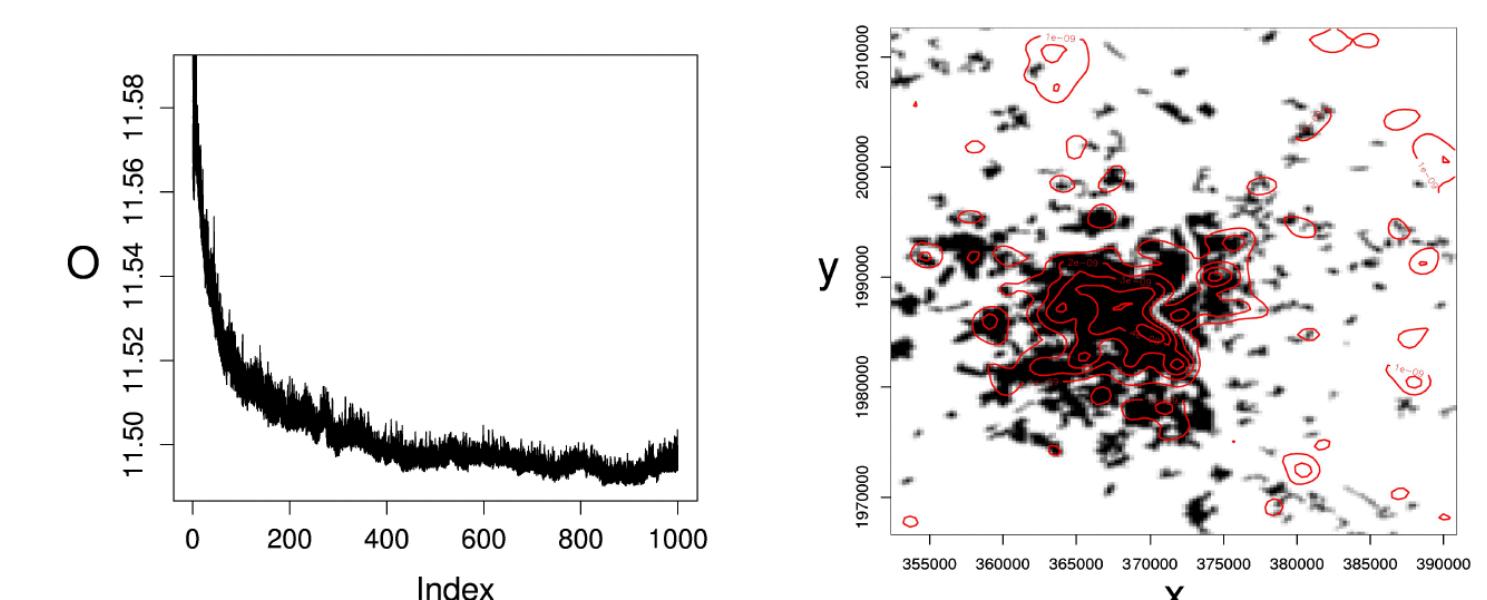
- $q_1$  moves one or several uniformly selected points in a disk of radius  $h_i$
- $q_2$  replaces one or several uniformly selected points by one of its  $n_i$  nearest neighbours in the covariates cloud

## Results

A **third French agglomeration (Bordeaux)** is taken as an application case. The performances of both algorithms are compared, in terms of optimization quality and computing time.



Optimal sampling design for Bordeaux (SA)

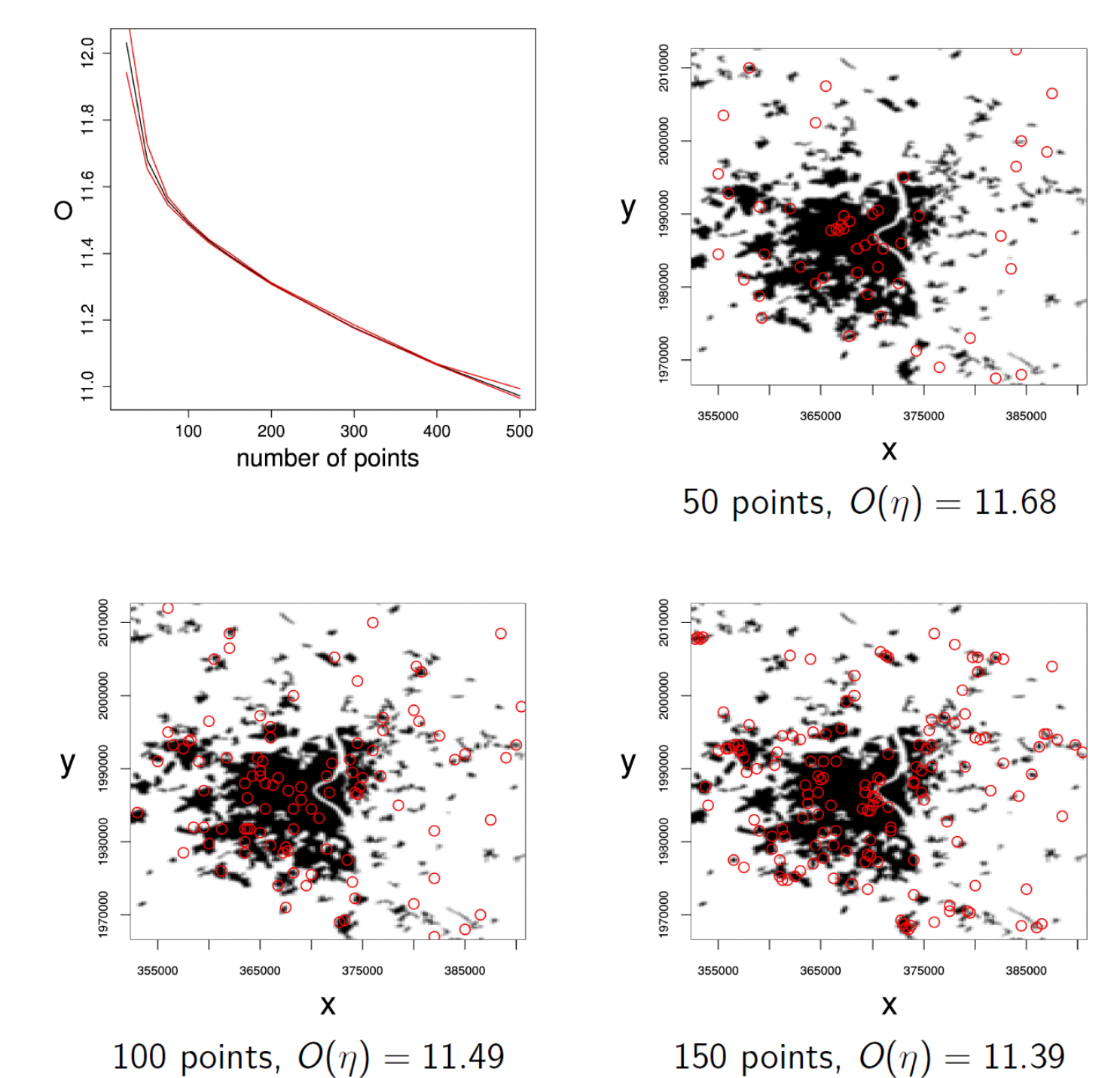


Optimal sampling design for Bordeaux (IPA)

**SA** performs slightly better in terms of minimization of the criterion. **IPA** is easier to parameterize and can be straightforwardly **parallelized**.

## Dimension of the sampling design

By running several times one of the algorithms with an **increasing number of points**, one can decide the size of the network.



## Conclusions

- The exposed methodology allows to generate **optimal sampling schemes** based on previously available information, including known relationships between the pollutant and environmental variables, and uncertainty about the covariance parameters.
- The proposed **quality criterion** can be modified according to the purpose of the survey.
- Two global optimization algorithms have been proposed and explored. **SA** performs better in terms of optimization but **IPA** produce a whole population of suboptimal designs. A combination of both will be investigated.
- Hints for choosing the numbers of samplers have been provided.

**Acknowledgements** The authors are grateful to the associations AIRAQ, ATMO Nord-Pas-de-Calais and ATMO Champagne-Ardenne for having supplied the data.

## References

- [1] O. Cappé, A. Guillin, J.-M. Marin, and C. P. Robert. Population Monte-Carlo. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 13(4):907–929, 2004.
- [2] J. P. Chilès and P. Delfiner. *Geostatistics, Modeling Spatial Uncertainty*. John Wiley & Sons, New-York, 2nd edition, 2012.
- [3] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt Jr., and M. P. Vecchi. Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220(4598):671–680, 1983.
- [4] T. Romary, C. de Fouquet, and L. Malherbe. Sampling design for air quality measurement surveys: An optimization approach. *Atmospheric Environment*, 45(21):3613 – 3620, 2011.



# Caractérisation de la ressource en Energies Marines Renouvelables : production de paramètres d'intérêt pour la filière



## Centre O.I.E.

Observation, Impacts, Energie  
(Sophia Antipolis, France)

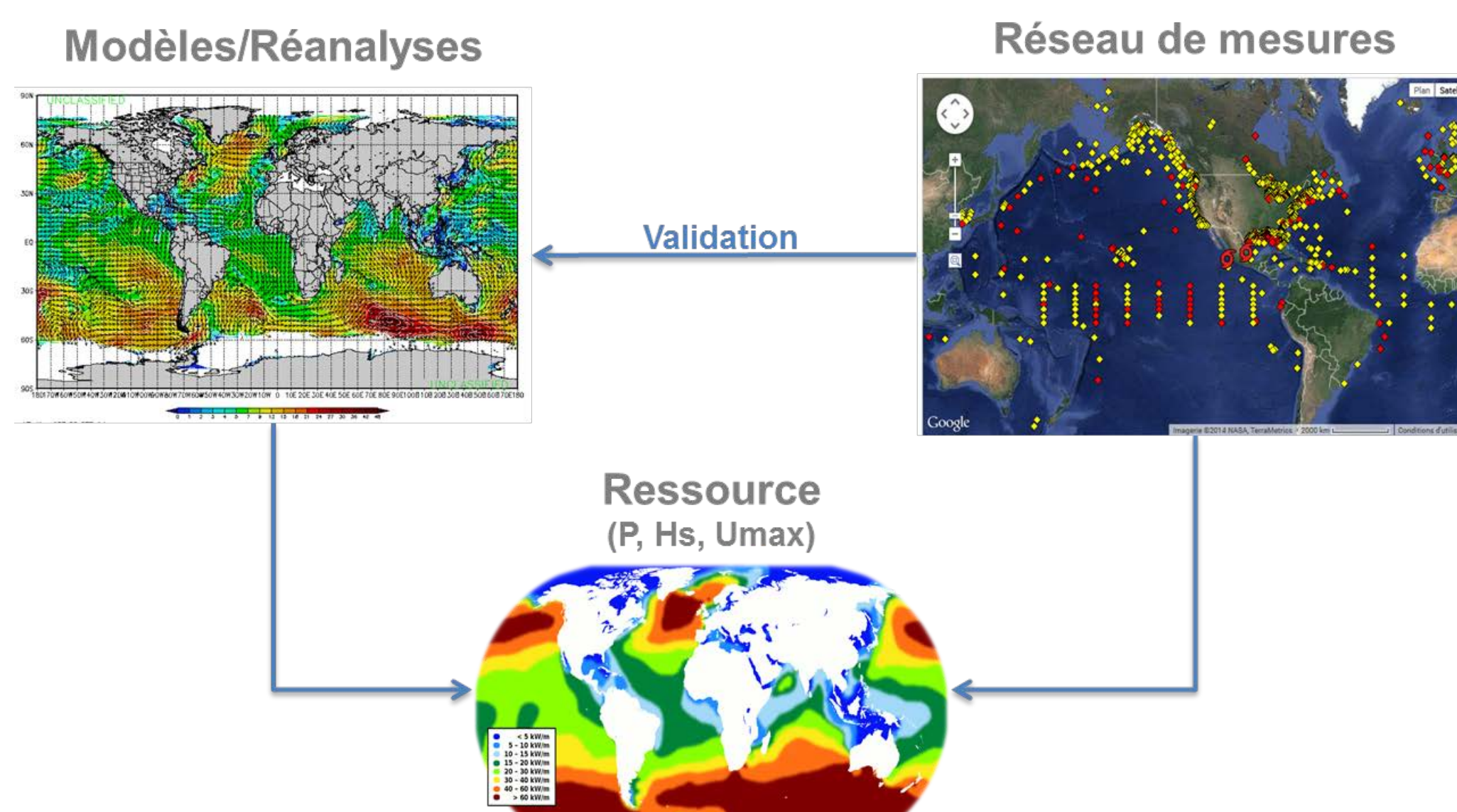
Parmi les éléments qui freinent le développement des Energies Marines Renouvelables (EMR), on trouve notamment la difficulté rencontrée par les acteurs du domaine à accéder à une caractérisation appropriée de la ressource. Les outils développés par la communauté océanographique donnent accès aux variables de base

qui permettent l'élaboration de ce genre d'information mais sont largement sous-utilisées dans le domaine des EMR. Les travaux présentés dans ce poster décrivent l'exploitation de ces variables pour la génération de paramètres d'intérêt pour les acteurs de la filière EMR.

## AUTEURS

Jean Dubranna  
Thierry Ranchin

## La caractérisation de la ressource EMR

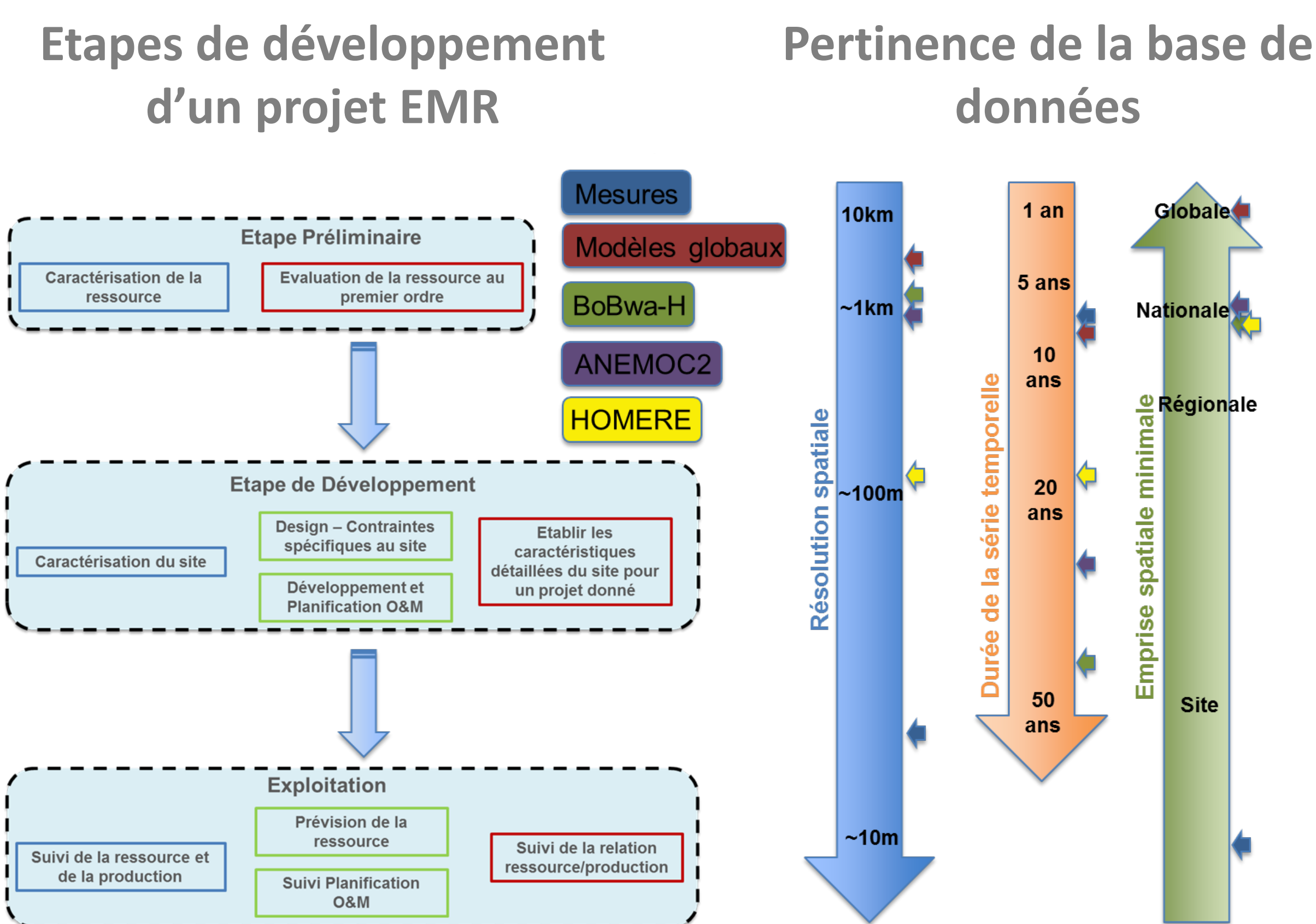


- La caractérisation de la ressource est basée sur l'exploitation de ré-analyses de climats de houle/courants et validées par un réseau de mesures.
- Le traitement et l'exploitation des séries temporelles issues de ces ré-analyses permet de caractériser spatialement et temporellement la ressource (houle et courant).

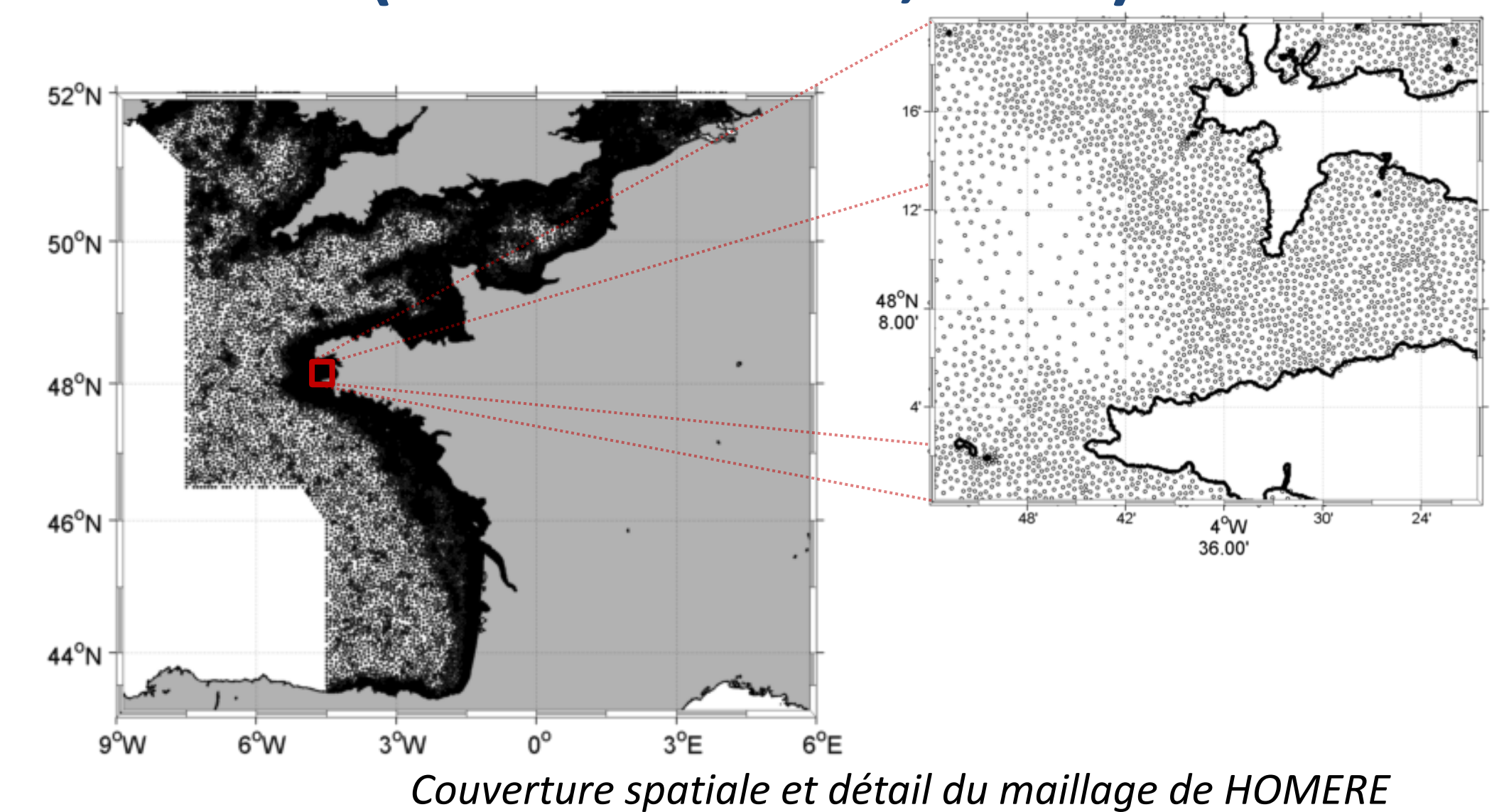
## PARTENAIRES



## Pertinence des bases de données existantes



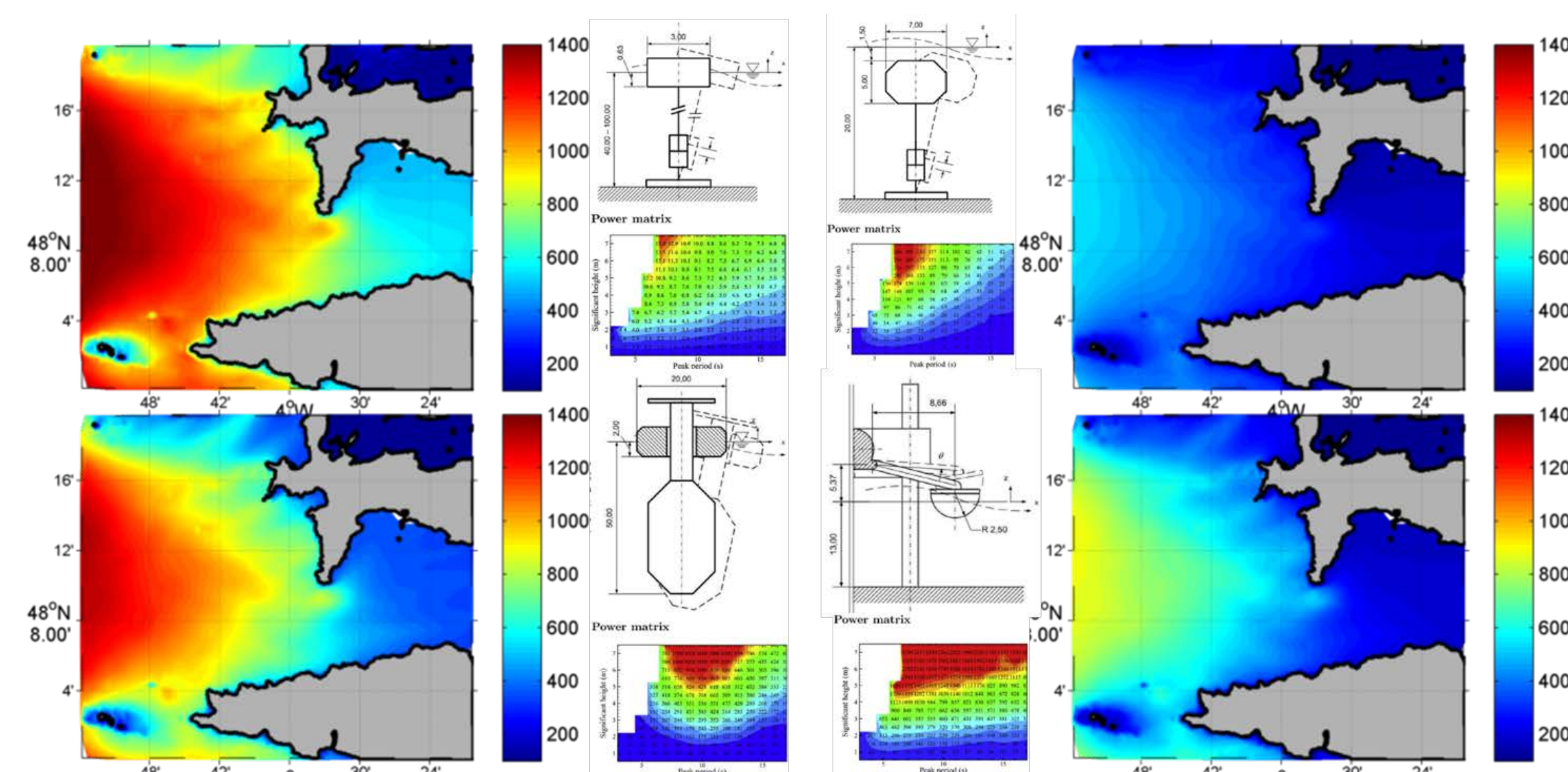
## La réanalyse « HOMERE » (Boudière et al., 2013)



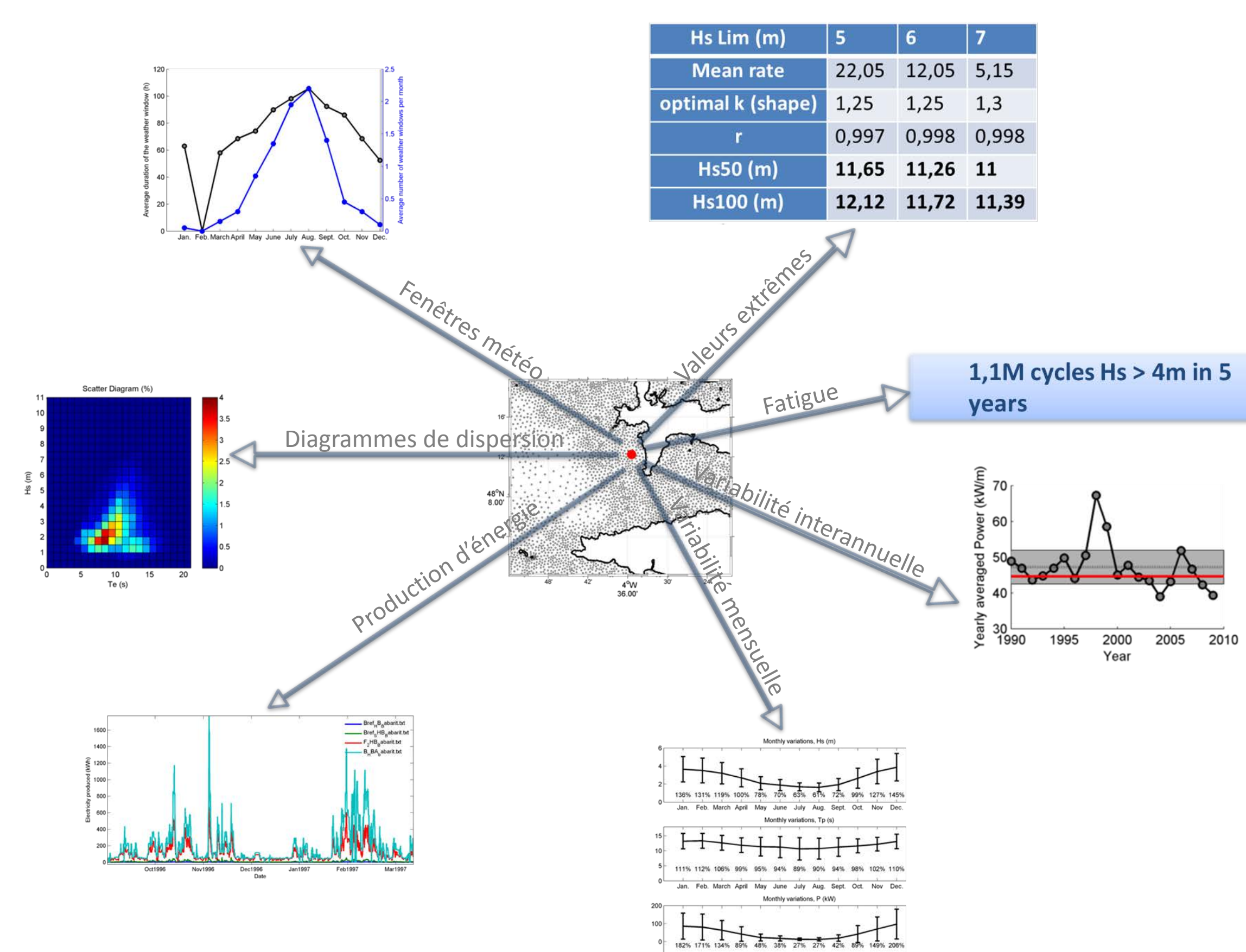
- Description courants, houles, vents
- Résolution temporelle horaire,
- Durée : 19 ans,
- Résolution spatiale max. 200 m

## Informations générées à partir d' « HOMERE »

### Informations spatialisées



### Informations produites en chaque point de calcul de HOMERE



Moyenne annuelle de production d'électricité houlomotrice en fonction de la technologie (kWh/kW installé)

## CONTACT

jean.dubranna@mines-paristech.fr

www.oie.mines-paristech.fr



## Conclusion et Perspectives

### Conclusion :

- Possibilité de générer des informations pertinentes, de qualité pour les acteurs de la filière EMR, basées sur des données environnementales

### Perspectives :

- Génération de l'ensemble des paramètres sur la couverture complète de la base de données
- Diffusion de ces informations au travers de services Web et de l'atlas global de l'IRENA.

# A reference LCA model for high temperature geothermal energy systems



## Centre O.I.E.

Observation, Impacts, Energy  
(Sophia Antipolis, France)

## Context

“Bouillante” is a **high temperature geothermal** power plant (high temperature geothermal corresponds to a system where the reservoir temperature exceeds 150 °C at a depth of 1 km)

The reference LCA model is based on **three scenarios**:

- base scenario 1: the current “Bouillante” configuration (2 production units, cooling system by mixing with sea water, no reinjection)
- prospective scenario 2a: 1 production unit, tower cooling system and reinjection
- prospective scenario 2b: 1 production unit, aerocondenser cooling system and reinjection

## Objective

To generate a **reference LCA model** to be used for high temperature geothermal systems. Initial data and configuration taken after the Bouillante geothermal power plant located in the Guadeloupe Island.

## AUTHORS

Mathilde Marchand<sup>1</sup>

Aline Marquand<sup>2</sup>

Isabelle Blanc<sup>1</sup>

Frédéric Amblard<sup>1</sup>

Sophie Bezelgues-Courtade<sup>2</sup>

Antoine Beylot<sup>2</sup>

<sup>1</sup> OIE MINES ParisTech

<sup>2</sup> BRGM

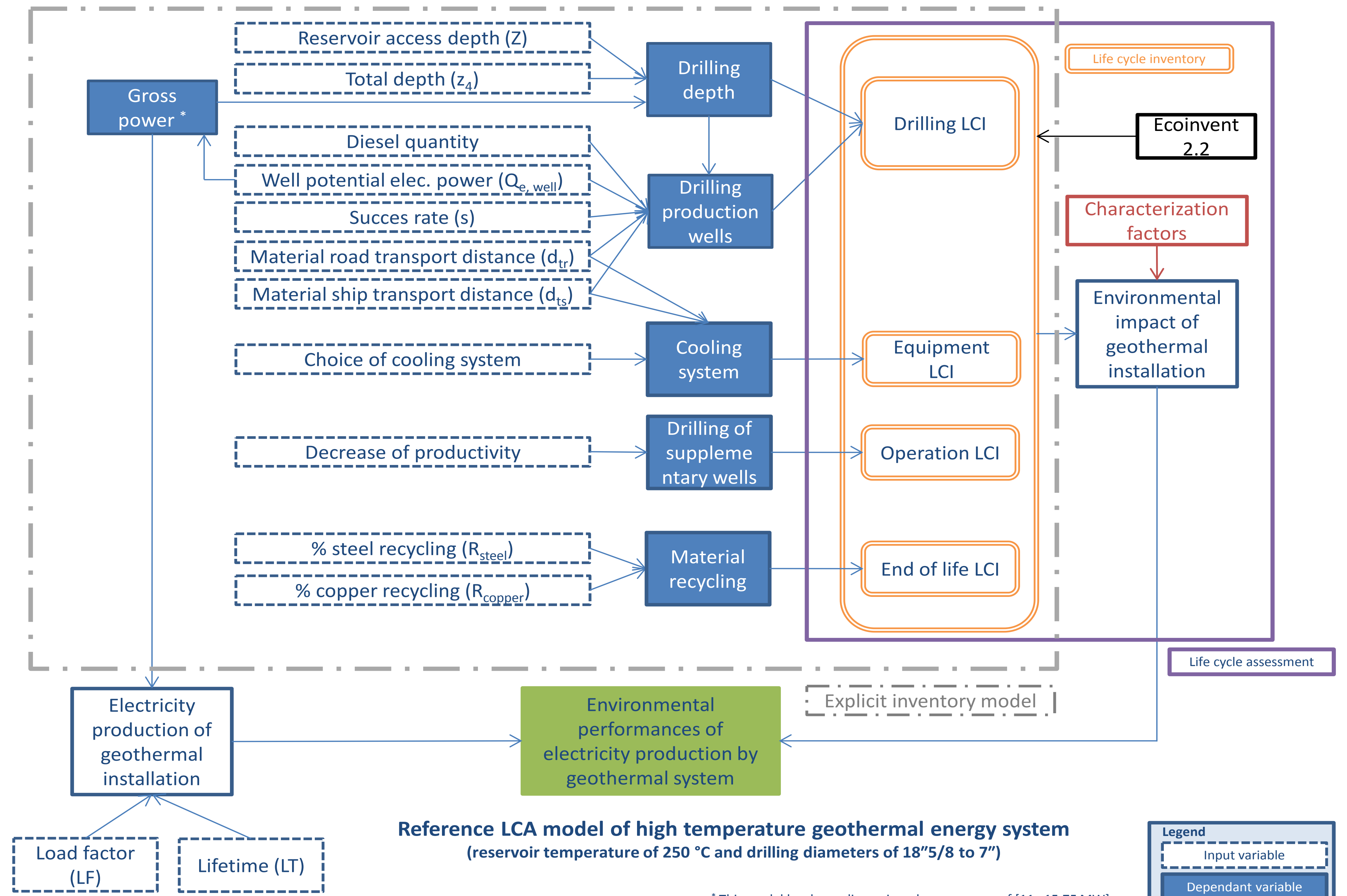
## PARTNERS

ADEME



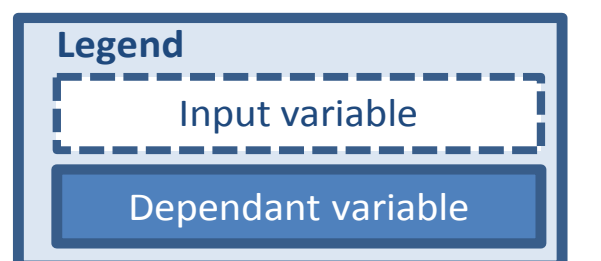
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

## Reference LCA model



Reference LCA model of high temperature geothermal energy system  
(reservoir temperature of 250 °C and drilling diameters of 18”5/8 to 7”)

\* This model has been dimensioned over a range of [11 ; 15,75 MW]



### Assumptions

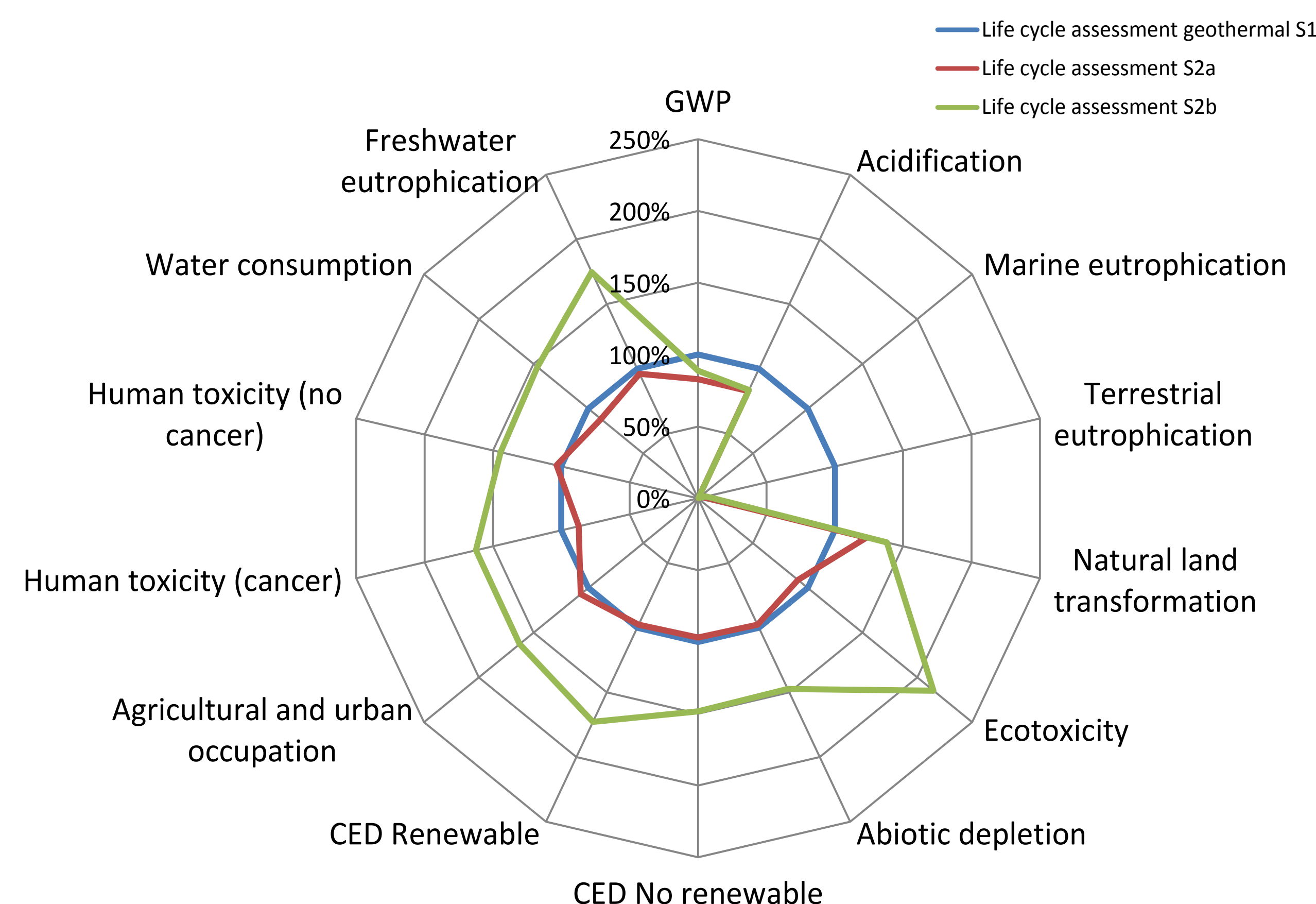
- number of exploration wells set at 3
- 1 production well = 1 reinjection well
- fixed surface machinery equipment
- no decrease of productivity in case of reinjection
- no emissions change according to tower and aerocondenser cooling systems modelling

### Input variables

- $Q_{e,well}$ : potential electrical power of well [MW<sub>e</sub>]
- $s$ : success rate [%]
- $LF$ : load factor [%]
- $LT$ : lifetime of installation [years]
- $R_{steel}$ : steel recycling rate [%]
- $R_{copper}$ : copper recycling rate [%]
- $Z$ : reservoir access depth [m]
- $z_4$ : total depth [m]
- $d_{tr}$ : material road transport distance [km]
- $d_{ts}$ : material ship transport distance [km]
- Choice of cooling system

## Results

- GHG range from **39.4 to 47.5 g CO<sub>2eq</sub>/kWh** → coherent with literature (Hondo 2005, IPCC 2011, Sullivan 2010)
- Compared to scenario 1
  - › both prospective scenarios generate less local environmental impact (marine and terrestrial eutrophication and acidification)
  - › prospective scenario 2b generates larger environmental impacts related to background process (due to steel production)
- Environmental interest of geothermal fluid reinjection (IPCC 2011)



## Reference

- Hondo, H. 2005. "Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case." *Energy* 30(11-12 SPEC. ISS.):2042-2056.
- IPCC. 2011. "Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation - Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation."
- Sullivan, J.L., C.E. Clark, L. Yuan, J. Han, and M. Wang. 2010. "Life cycle analysis results of geothermal systems in comparison to other power systems." Energy Systems Division, Argonne National Laboratory.

mathilde.marchand@mines-paristech.fr  
isabelle.blanc@mines-paristech.fr

www.oie.mines-paristech.fr



# A PROSPECTIVE MAPPING OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF LARGE SCALE PHOTOVOLTAIC GROUND MOUNTED SYSTEMS BASED ON THE CDTE TECHNOLOGY AT 2050 TIME HORIZON



## Context

- \* Projection of worldwide annual photovoltaic (PV) power generation in the utility sector: multiplication by a factor of 190 from 2010 to 2050 (from 8 TWh to 1 498 TWh) [IEA, 2011].
- \* Prospective environmental impacts and electricity production capacity of PV systems need to be assessed to know in which proportion and where they should be developed to maximize the electricity production while minimizing their environmental impacts.
- \* CdTe is a very promising technology to be investigated at large scale.

**O.I.E. Center Observation, Impacts, Energy**  
(Sophia Antipolis, France)

## Objective

- \* to study the **greenhouse gases (GHG) performance of large scale PV ground mounted systems (5MWp) based on the CdTe technology**
- \* to compare the **current (2011-2013) and prospective (2050) situation under different scenarios for - technological improvements - future electricity mixes - module manufacturing origin**
- \* to realize **maps of these performances**

$$\text{GHG performance} = \frac{\text{GHG emitted (in gCO}_2\text{eq)}}{\text{electricity produced (in kWh)}} \text{ over the life cycle of the system}$$

## Authors

Camille Marini (MINES ParisTech)  
Isabelle Blanc (MINES ParisTech)

## Method

GHG performances assessed with a **parameterized Life Cycle Assessment (LCA) model** (Figure 1)

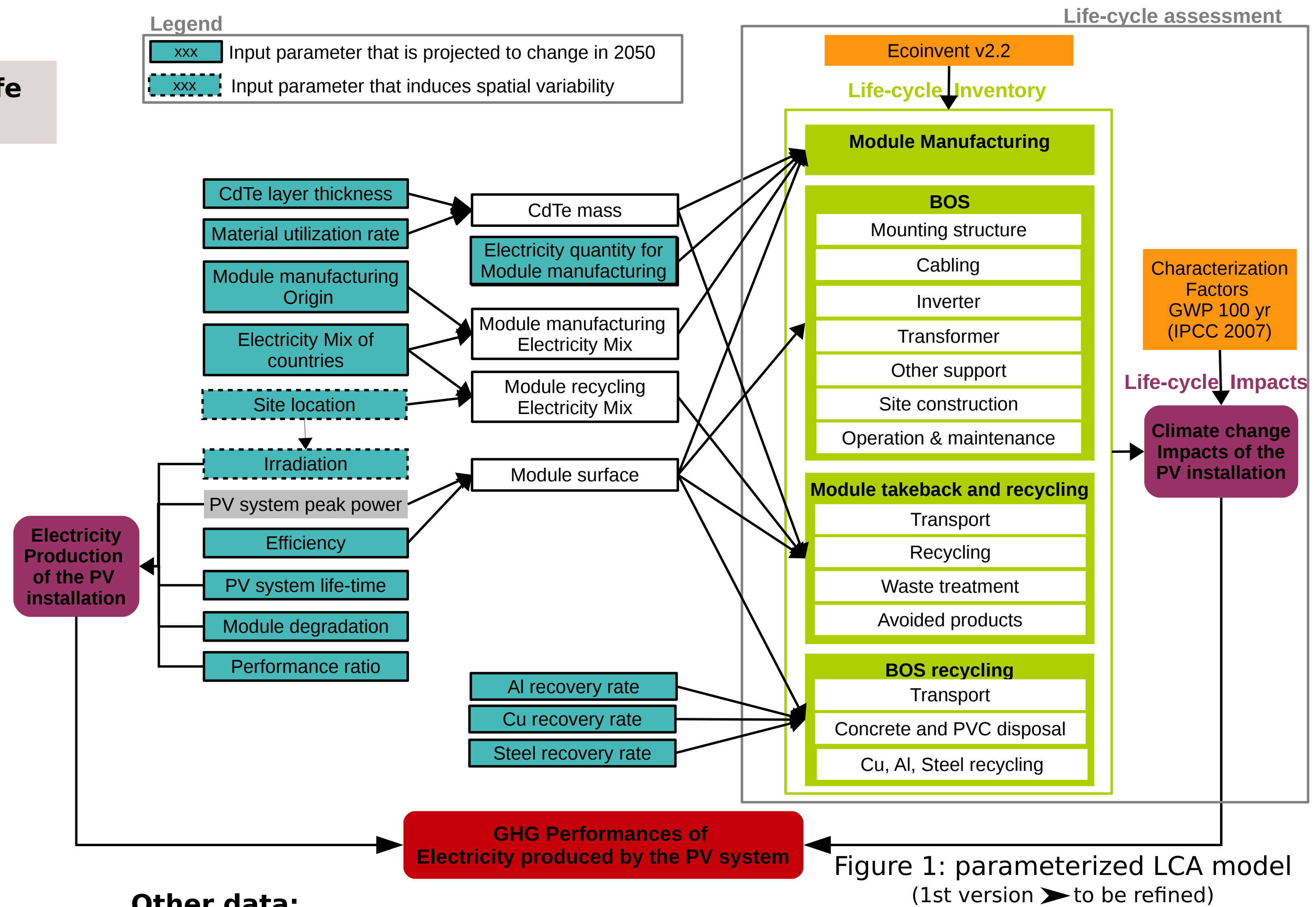
- Input parameters** (Table 1):
- parameters associated with spatial variability
  - parameters that are likely to evolve in the future

### 6 prospective scenarios:

- 3 technological scenarios [Itten et al., 2014]
- 3 scenarios for future electricity mixes [IEA, 2011]
- \* BAU: business as usual
- \* REAL: realistic changes
- \* OPT: optimistic change
- \* S1: "Current Policies scenario"
- \* S2: "New Policies scenario"
- \* S3: "450 scenario"

Table 1: Parameters of the parameterized LCA model, and their current (2010-2014) and prospective values (around 2050)

Parameter	Unit	Current value	Prospective value
CdTe layer thickness	µm	3 [Itten et al., 2014]	BAU: 2 REAL: 1 OPT: 0.1 [Itten et al., 2014]
Material Utilisation rate	%	55 [Marwede and Reller, 2012]	BAU: 70 REAL: 85 OPT: 99 [Marwede and Reller, 2012]
Module Manufacturing origin		Germany, USA, Malaysia [Dominguez-Ramos et al., 2010a]	Germany, USA, Malaysia, China
Electricity mix	gCO <sub>2</sub> eq/MJ	values for 2013 [IEA, 2013]	IEA scenarios for 2035 [IEA, 2011] S1, S2, S3
Site location		Europe	
Irradiation	kWh/(m <sup>2</sup> ·yr)	For Europe, Helioclim 3 database (2011-2013) [Blanc et al., 2011]	
Module efficiency	%	11.7 [Itten et al., 2014]	BAU: 17.7 REAL: 19.9 OPT: 22.7 [Itten et al., 2014]
Life Time	yr	30 [Itten et al., 2014]	BAU: 30 REAL: 35 OPT: 40 [Itten et al., 2014]
Degradation	%	0.5 [Strevel et al., 2014]	
Performance Ratio	%	80 [IEA PVPS, 2011]	
Electricity quantity (Reduction in comparison with actual value)	%	0	BAU: 14 REAL: 19 OPT: 26 [Itten et al., 2014]
Metal recovery rates	%	Al: 35, Cu:40, steel: 45 [Beylot et al., 2014]	Al: 79, Cu:76, steel: 90 [Bergesen et al., 2014]



- Other data:**
- \* Background processes: ecoinvent 2.2
  - \* Reference fluxes:
    - Module manufacturing: data from **first solar** (Germany, US, Malaysia)
    - BOS: data from first solar [Sinha and Wild-Scholten, 2012]
    - Module takeback and manufacturing [Sinha et al., 2012]
    - BOS recycling [Beylot et al., 2014] [Bergesen et al., 2014]

## Partners

With the support of



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

As a contribution to IEA PVPS Task 12

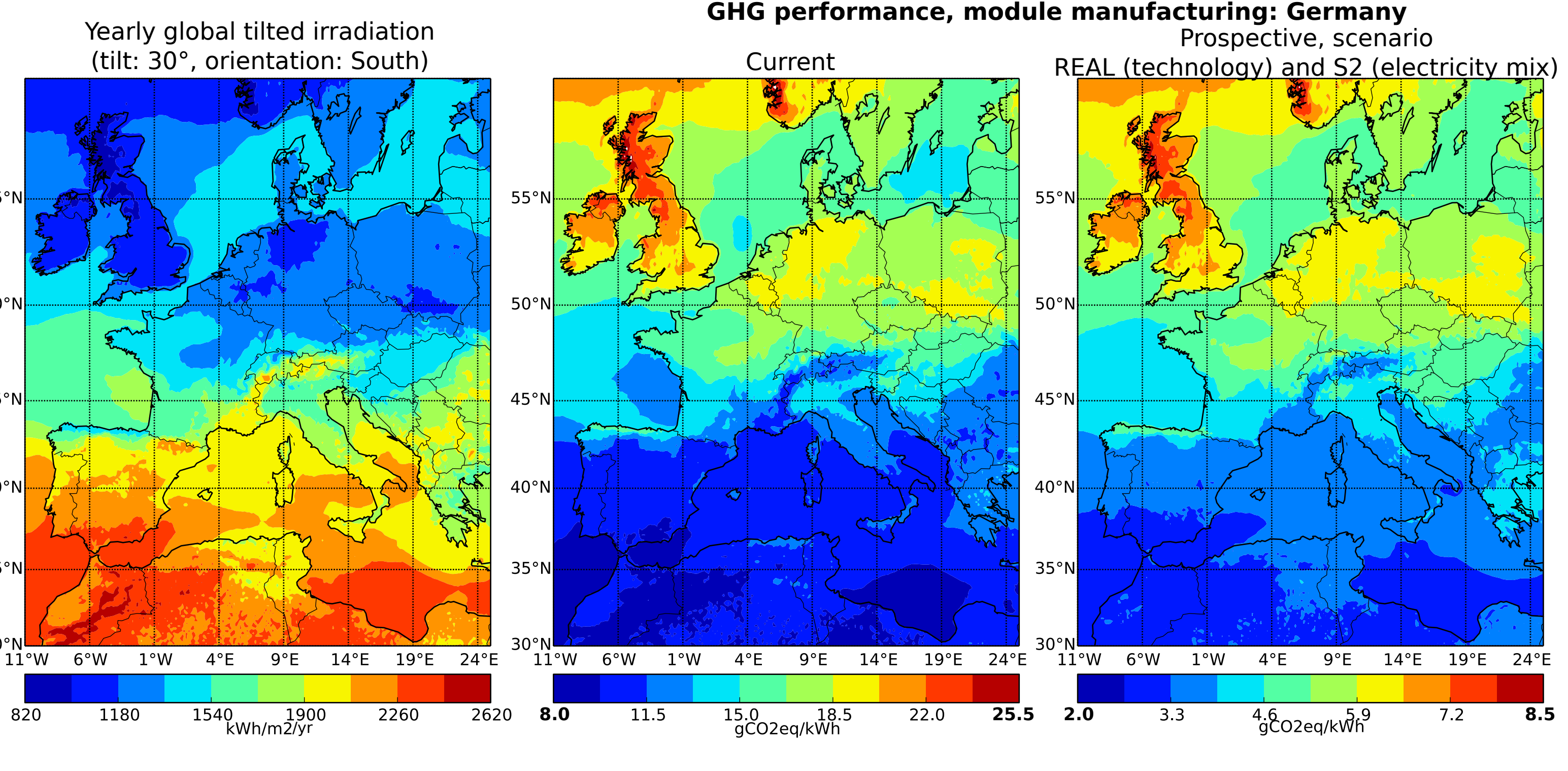
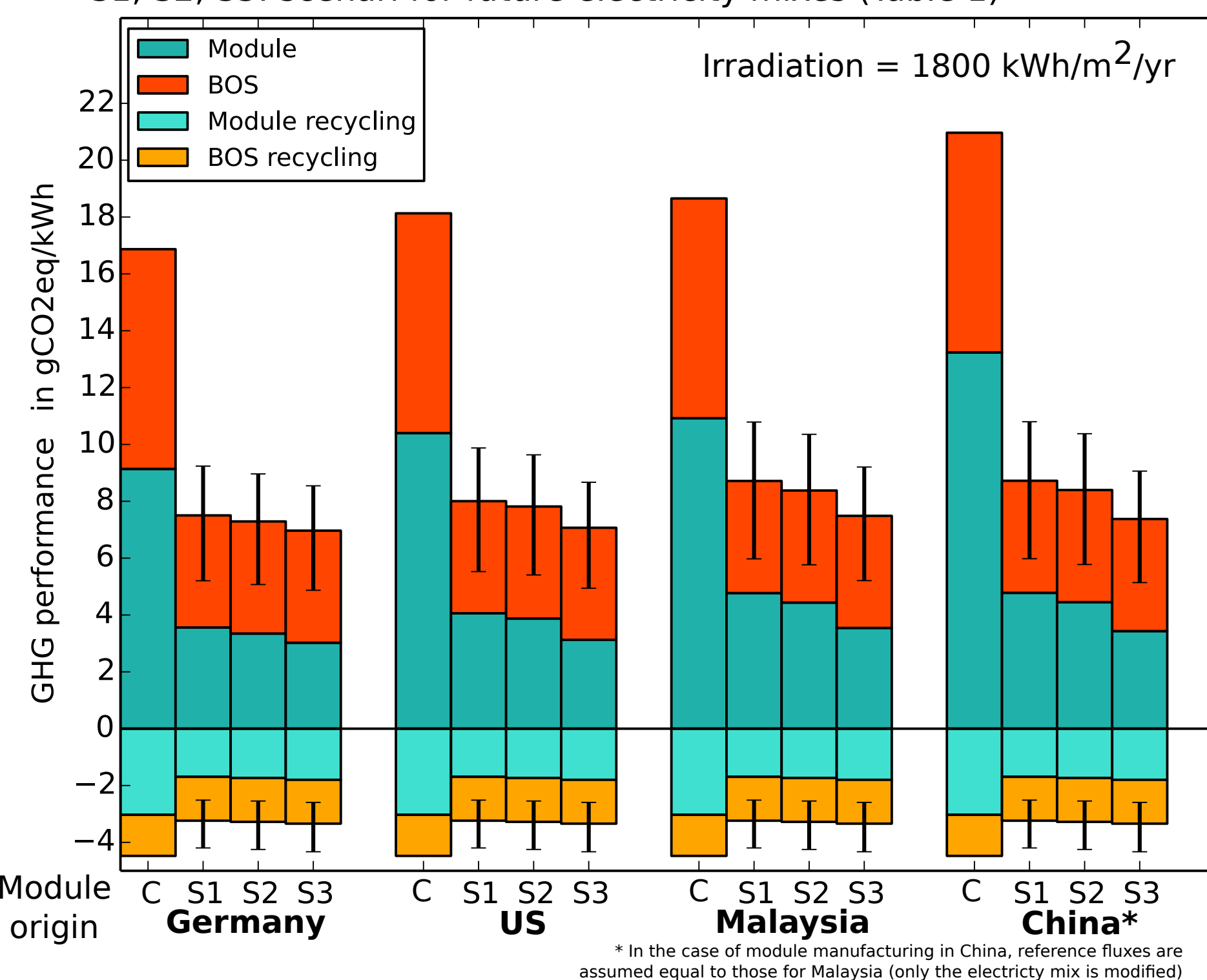


## Results

Summary of overall reduction in GHG performances between now and 2050

Scenario	BAU	REAL	OPT
S1	48-56%	61-67%	70-75%
S2	52-59%	63-69%	72-77%
S3	61-69%	71-76%	77-82%

Current (C) and prospective GHG performance for the REAL scenario. "Error bars" represent values obtained for the OPT and BAU scenario. S1, S2, S3: scenario for future electricity mixes (Table 1)



## Contact

isabelle.blanc@mines-paristech.fr  
camille.marini@mines-paristech.fr  
www.oie.mines-paristech.fr



## Future work

- > Development of a **webservice** based on the parameterized LCA model, with a worldwide coverage.
- > Contribution to **scenarios assessment** integrating high levels of renewable energies

# Fishing Gear Recognition from VMS Data of the Indonesian Fishing

## Auteurs

Marza Ihsan Marzuki  
Ronan Fablet  
Mines-Telecom Institute  
Telecom Bretagne  
Brest, France

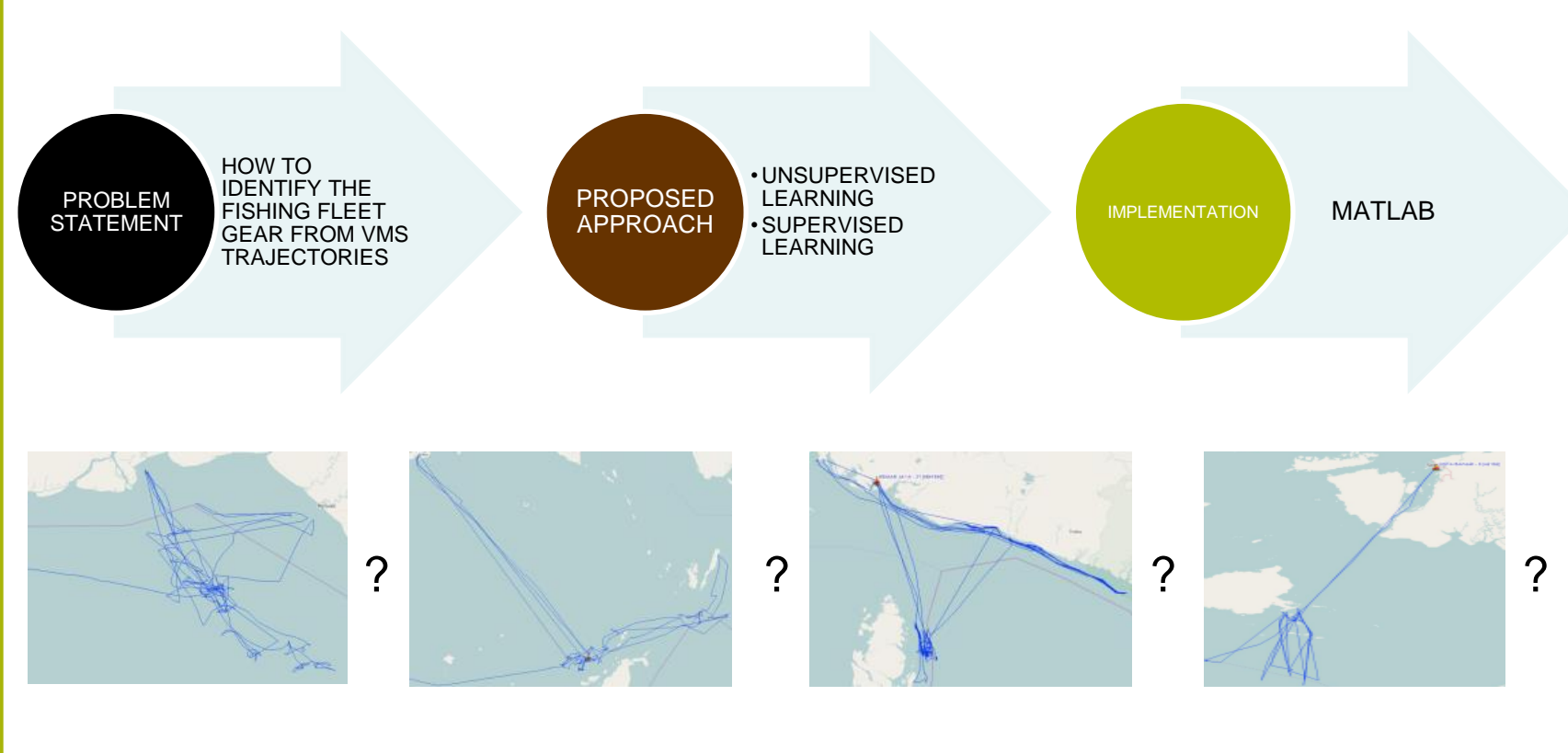
## Partenaires



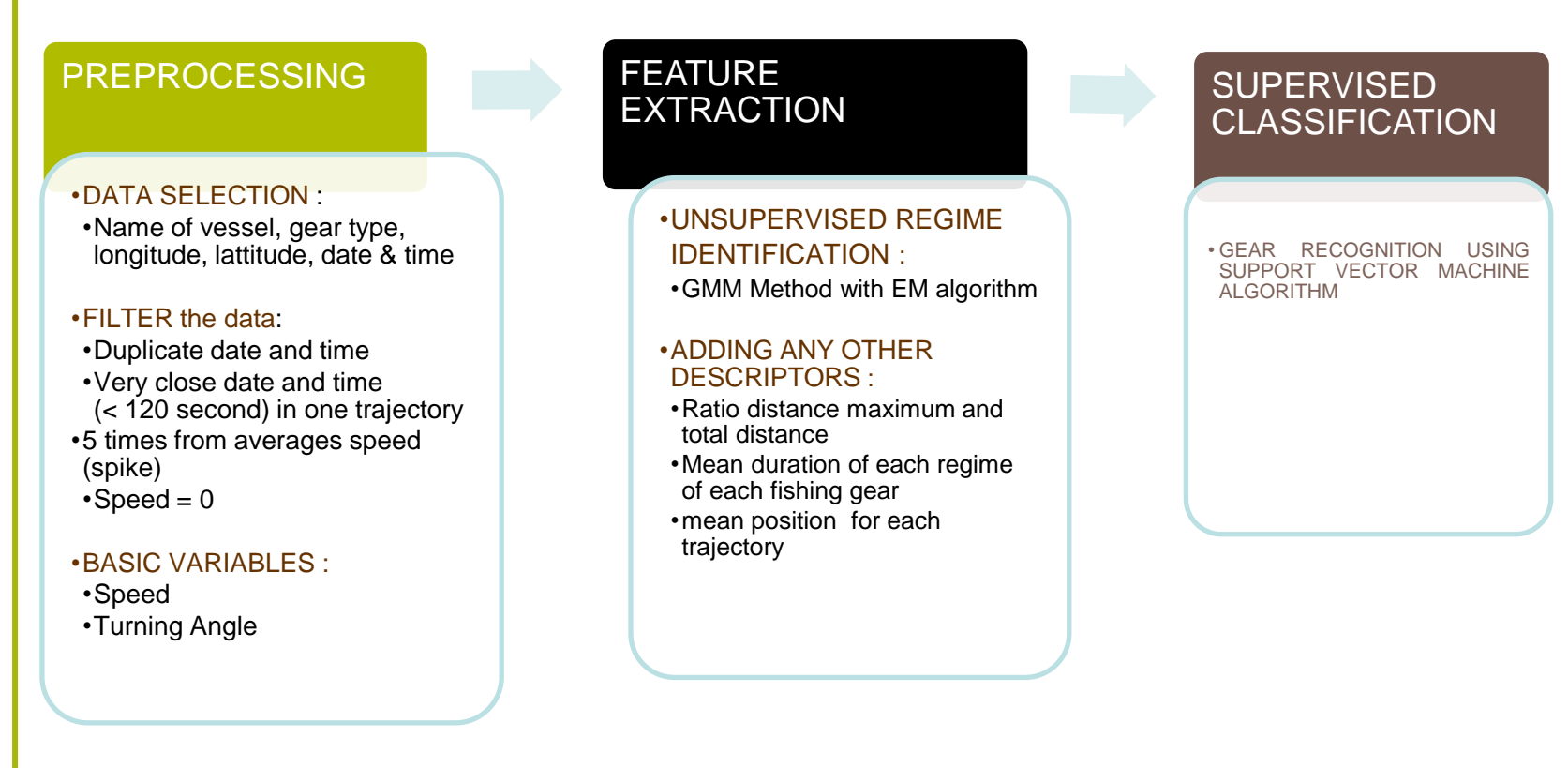
## ABSTRACT

Knowing different fishing vessel pattern for any types of fishing gear from Vessel Monitoring System (VMS) data is a key important to detect the anomaly of the utilisation of illegal fishing gear. We introduce the new method to recognize the fishing gear from its trajectory. First we did unsupervised regime identification for each type of fishing gear to identify the behavioral patterns of trajectories. Second we add other descriptors such as the ratio of the distance maximum and total distance, mean duration of each regime of each fishing gear, and mean position for each trajectory. Finally we used supervised classification to recognize the fishing gear. By all these descriptors we could increase the percentage of the classification rate. The results showed that the mean correct of classification rate was 90,08% for year 2012. By this method it is promising that we could identify the fishing gear type from the trajectories of the VMS data.

## THE PROBLEM DEFENITION



## METHOD



## MATERIAL

We used Vessel monitoring system (VMS) data from 2011 to 2013. VMS data is Global Positioning System (GPS) positions of the fishing vessels that were transmitted hourly to the Fisheries Monitoring Centre (FMC) by satellite communication (Argos, Inmarsat, Iridium, Garuda-1).

In this study we concern with four gear type categories as follow: trawlers, longline fleet, pole and line and purse-seiners. Total VMS data records for all these categories were 17.570.431 records.

## Total Time Spent In One Regime

We use GMM method [2] to identify the regime for each fishing gear from the VMS trajectories

$$p(x|\lambda) = \sum_{i=1}^M w_i g(x|\mu_i, \Sigma_i)$$

$$g(x|\mu_i, \Sigma_i) = \frac{1}{(2\pi)^{D/2} |\Sigma_i|^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (x-\mu_i)\right\}$$

Where,  $x$  : D-dimensional continuous-valued data vector (speed and turning angle)  
 $w_i$  : mixture weights,  $i = 1, \dots, M$  and satisfy the constraint that  
 $\mu_i$  : mean vector  
 $\Sigma_i$  : covariance matrix

The maximum likelihood (ML) to estimate the parameters of the GMM with expectation-maximization (EM) algorithm

$$p(x|\lambda) = \prod_{t=1}^T p(x_t|\lambda)$$

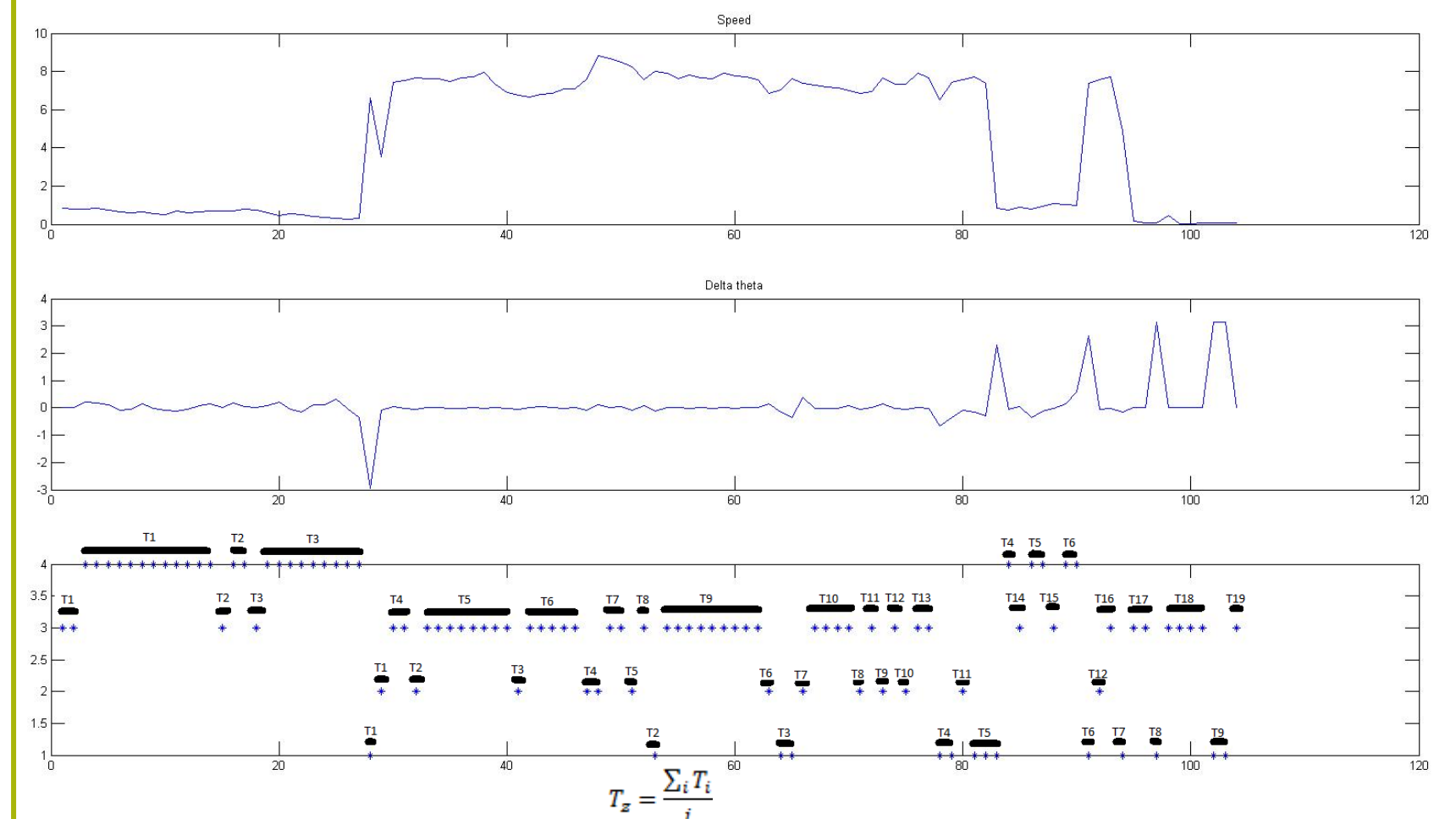
The a posteriori probability for component  $i$

$$Pr(z_t=i|x_t, \lambda) = \frac{w_i g(x_t|\mu_i, \Sigma_i)}{\sum_{k=1}^M w_k g(x_t|\mu_k, \Sigma_k)}$$

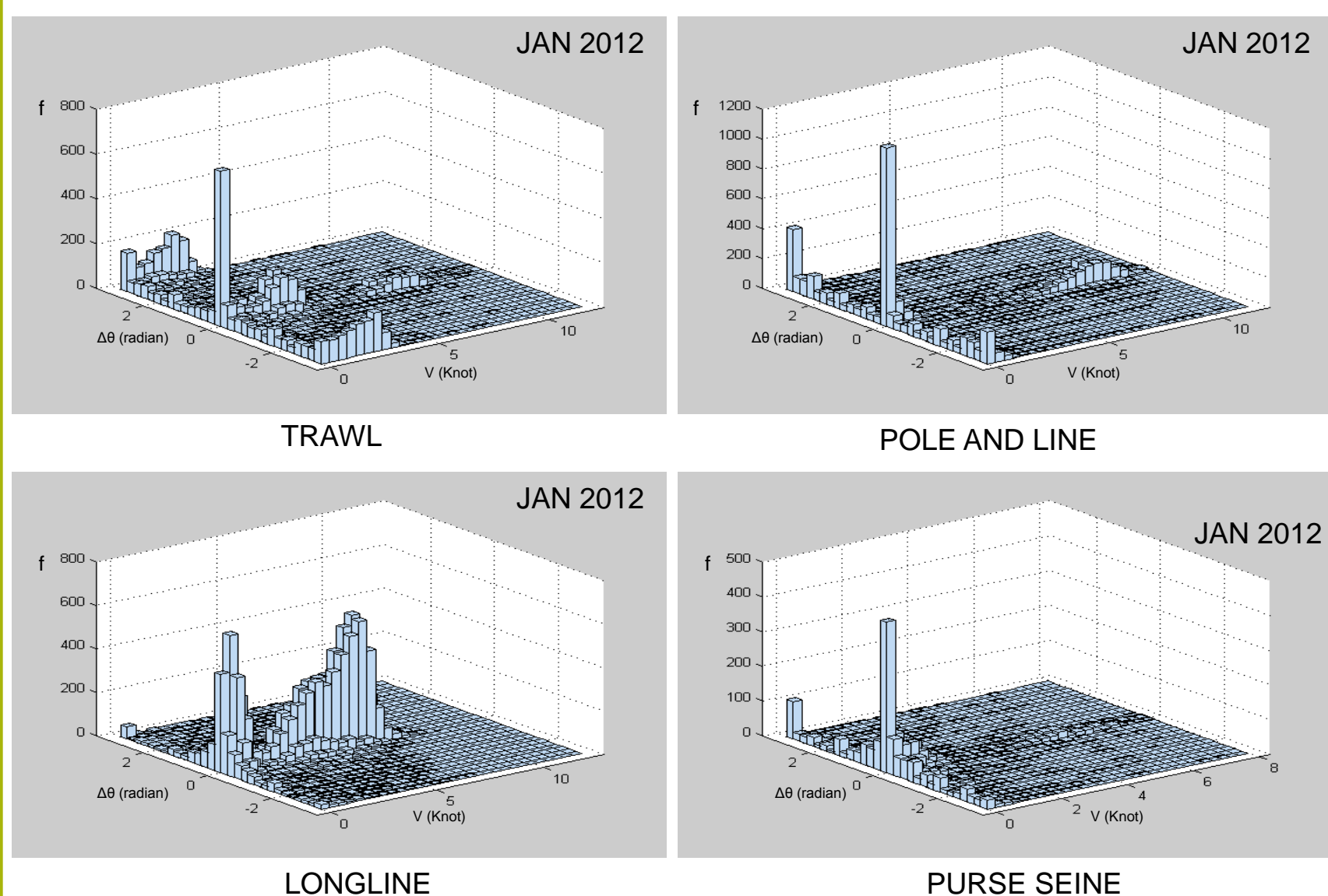
A joint density function:

$$\pi(i) = \sum_t Pr(z_t=i|x_t, \lambda)$$

## Mean Duration Of Each Regime Period



## STATISTICAL ANALYSIS OF THE VMS DATA



## REFERENCE

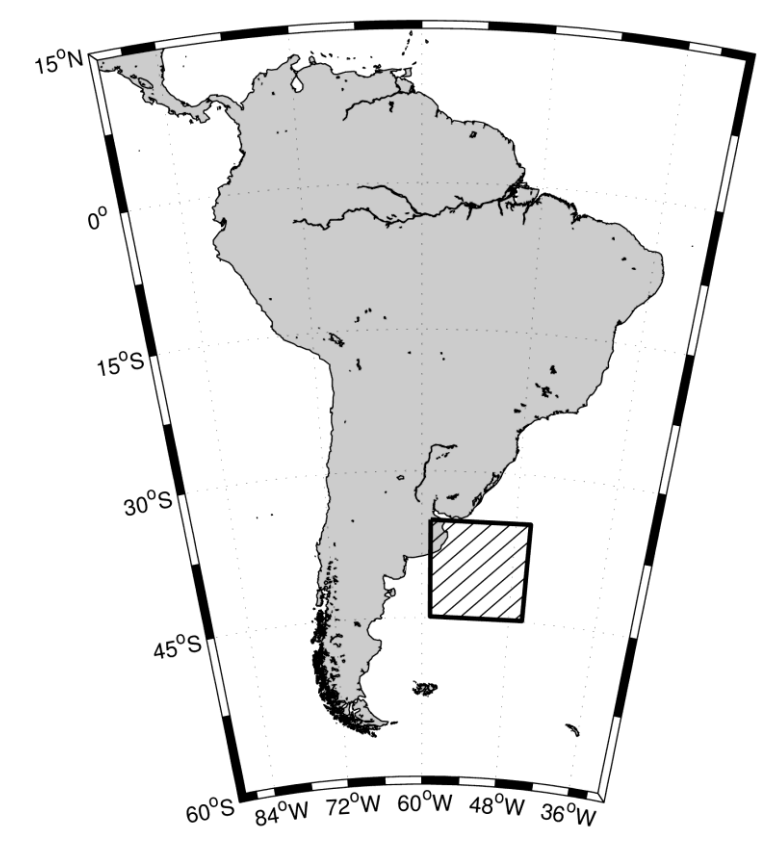
[1] E. Walker, D. Gaertner, P. Gaspar, N. Bez., 2010. Fishing activity of tuna purse seiners estimated from VMS data and validated by observer's data. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 65(6): 2376-2391

[2] Reynolds, D., Gaussian mixture models, MIT Lincoln Laboratory, 244 Wood St., Lexington, MA 02140, USA.

Fishing vessel activity can be analyzed from VMS trajectories data [1]. As shown in these picture we could make an hypothesis that each type of fishing vessel gear should depict specific trajectory characteristics.

## RESULTS

YEAR	SEASON	Confusion Matrix				Mean Correct of Classification Rate	Note
		Trawl	Longline	Pole and Line	Purse Seine		
2011	ALL SEASON	403	28	9	4	84,30%	Trawl: 0,9076, Longline: 0,9572, Pole & line: 0,8826, Purse seine: 0,6243
		37	2530	28	48		
		7	21	233	3		
		4	64	3	118		
2012	ALL SEASON	301	26	6	0	90,08%	Trawl: 0,9039, Longline: 0,9502, Pole & line: 0,8325, Purse seine: 0,9167
		48	1984	23	33		
		2	30	159	0		
		1	8	0	99		
2013 (not include December)	ALL SEASON	260	20	4	1	86,08%	Trawl: 0,9123, Longline: 0,9508, Pole & line: 0,8025, Purse seine: 0,7778
		17	1701	24	47		
		1	26	130	5		
		4	27	1	112		



## Authors

**Pierre Tandeo**  
**Ronan Fablet**  
 Mines-Telecom Institute  
 Telecom Bretagne  
 Brest, France

**Pierre Ailliot**  
 University of Brest  
 Mathematics Laboratory  
 Brest, France

**Martin Saraceno**  
 National Scientific and  
 Technical Research  
 Council  
 Buenos Aires, Argentina

## Partners



## References

[1] Jouini et al. (2013) Reconstruction of satellite chlorophyll images under heavy cloud coverage using a neural classification method, REMOTE SENS ENVIRON, vol. 131, pp. 232-246

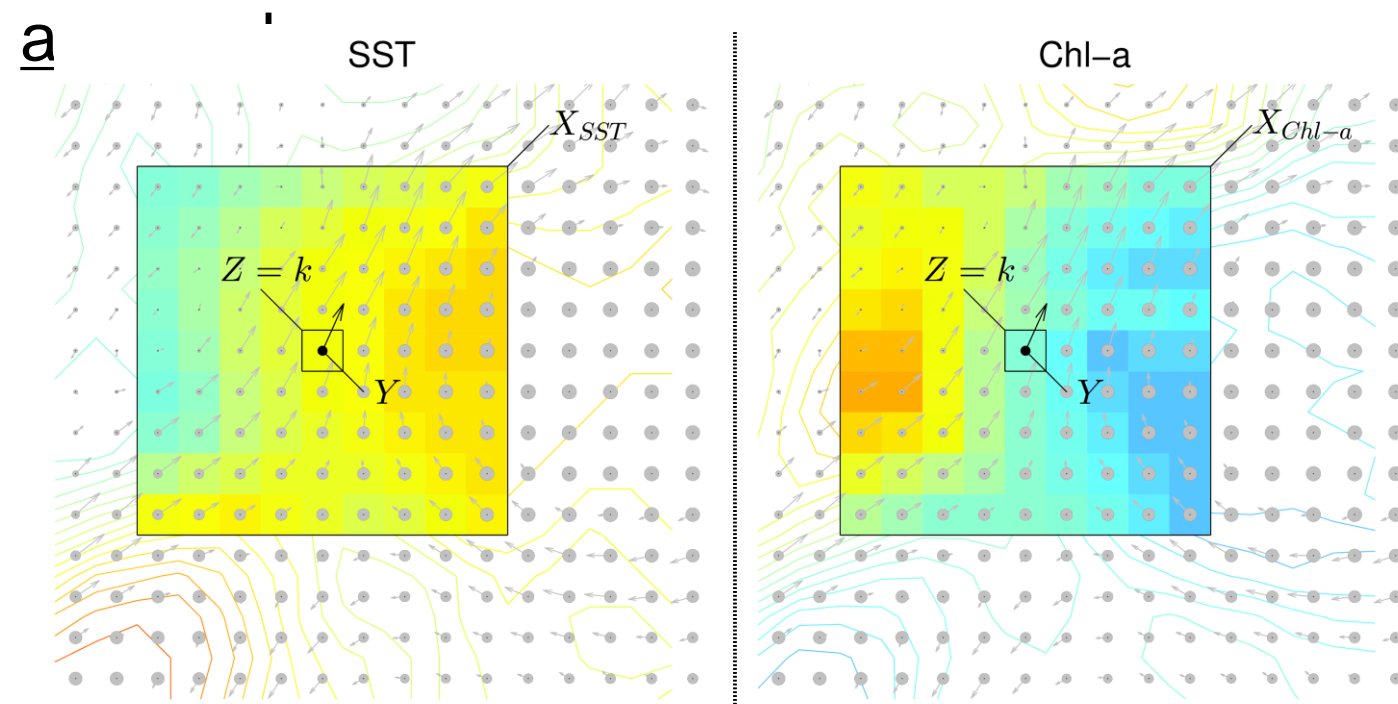
[2] Tandeo et al. (2014) Segmentation of Mesoscale Ocean Surface Dynamics Using Satellite SST and SSH Observations, IEEE T GEOSCI REMOTE, vol. 52(7), pp. 4227-4235

## Abstract

Here, we address the reconstruction of sea surface currents from satellite ocean sensing data. We use daily high resolution SST (Sea Surface Temperature) and Chl-a (Chlorophyll-a) satellite observations. State-of-the-art methods exploit classical optical flow schemes or nonlinear regression techniques [1]. Here, we propose an alternative, motivated by our recent identification of upper ocean dynamical modes [2]. We show that a Markov-switching latent class regression model is able to capture the spatiotemporal variabilities and to reconstruct sea surface currents from other active/passive tracers.

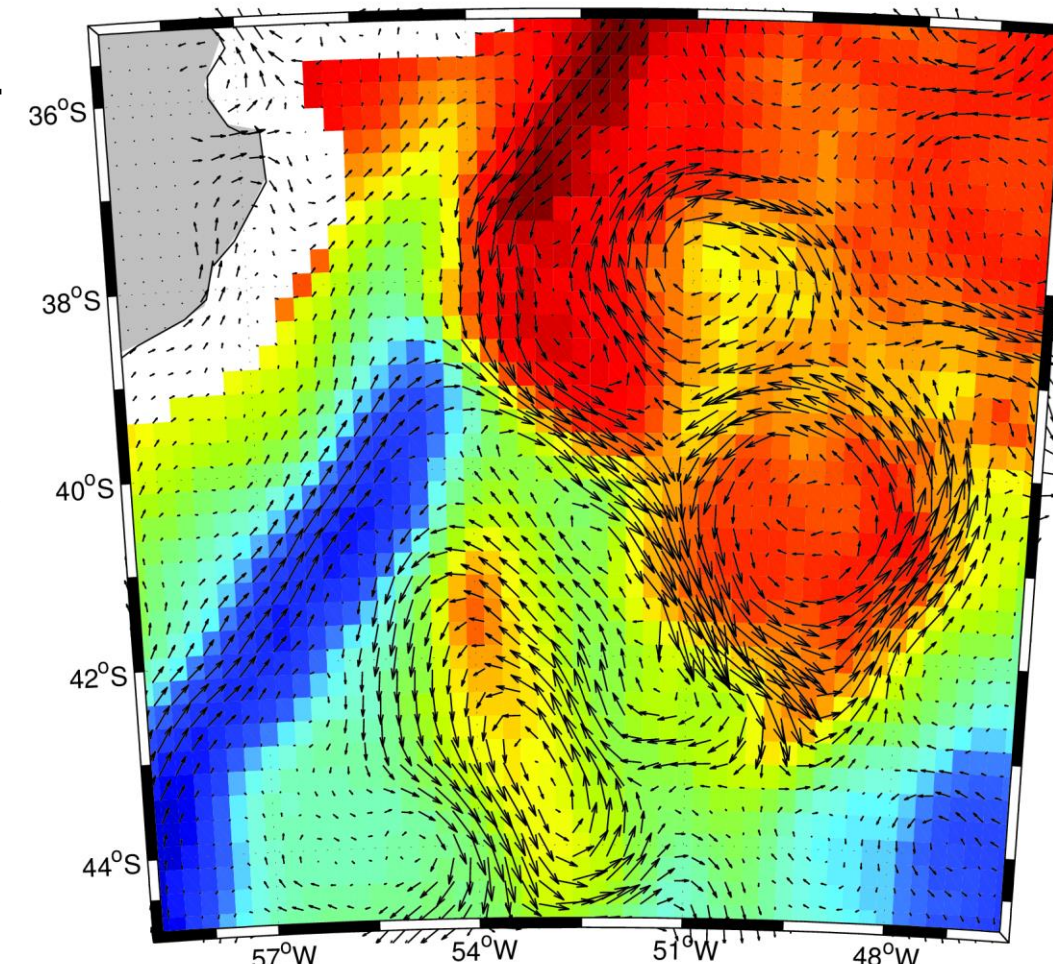
## Method

### □ Patch-based

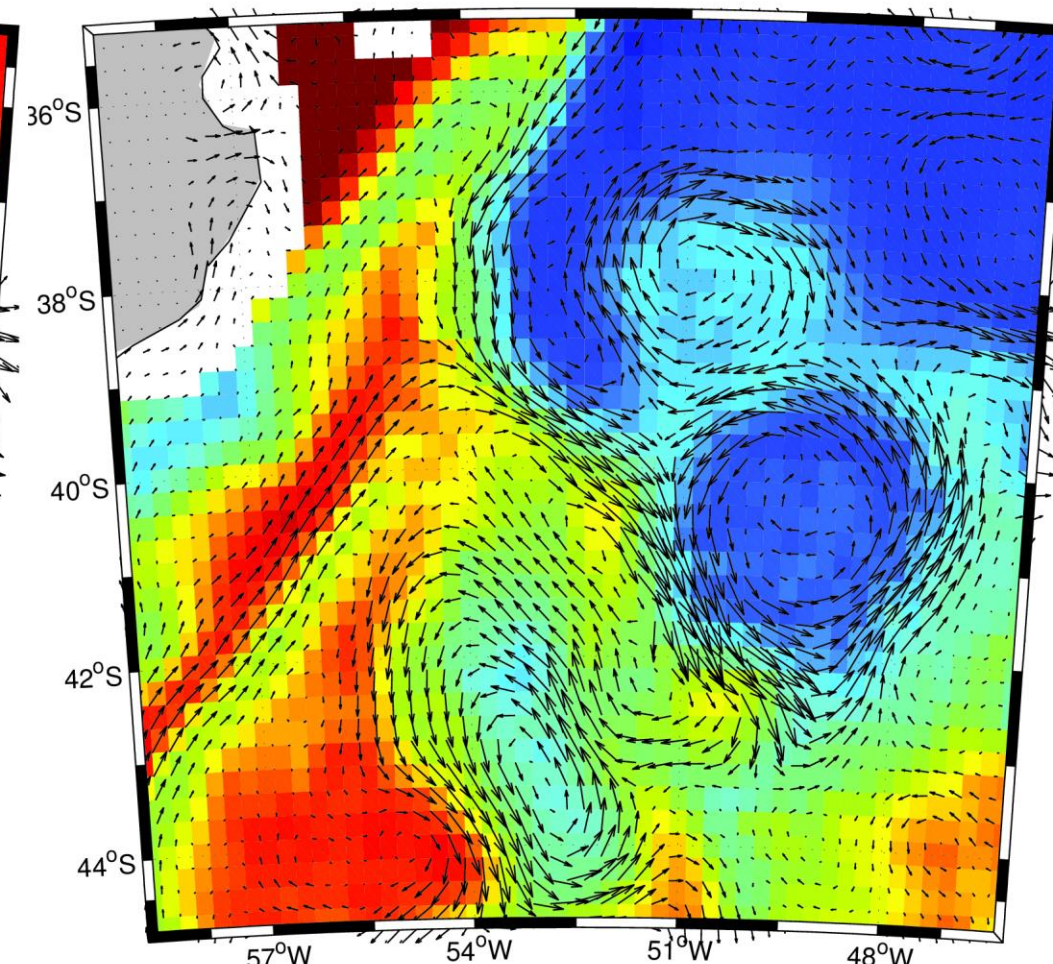


## Motivations

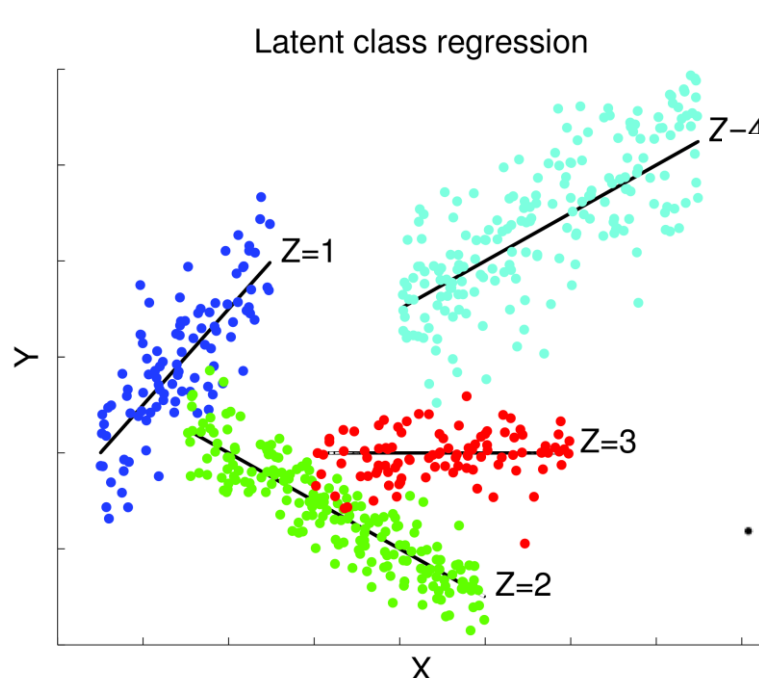
SST (RSS) & Currents (Aviso)



Chl-a (MODIS) & Currents (Aviso)



### □ Latent class regression:



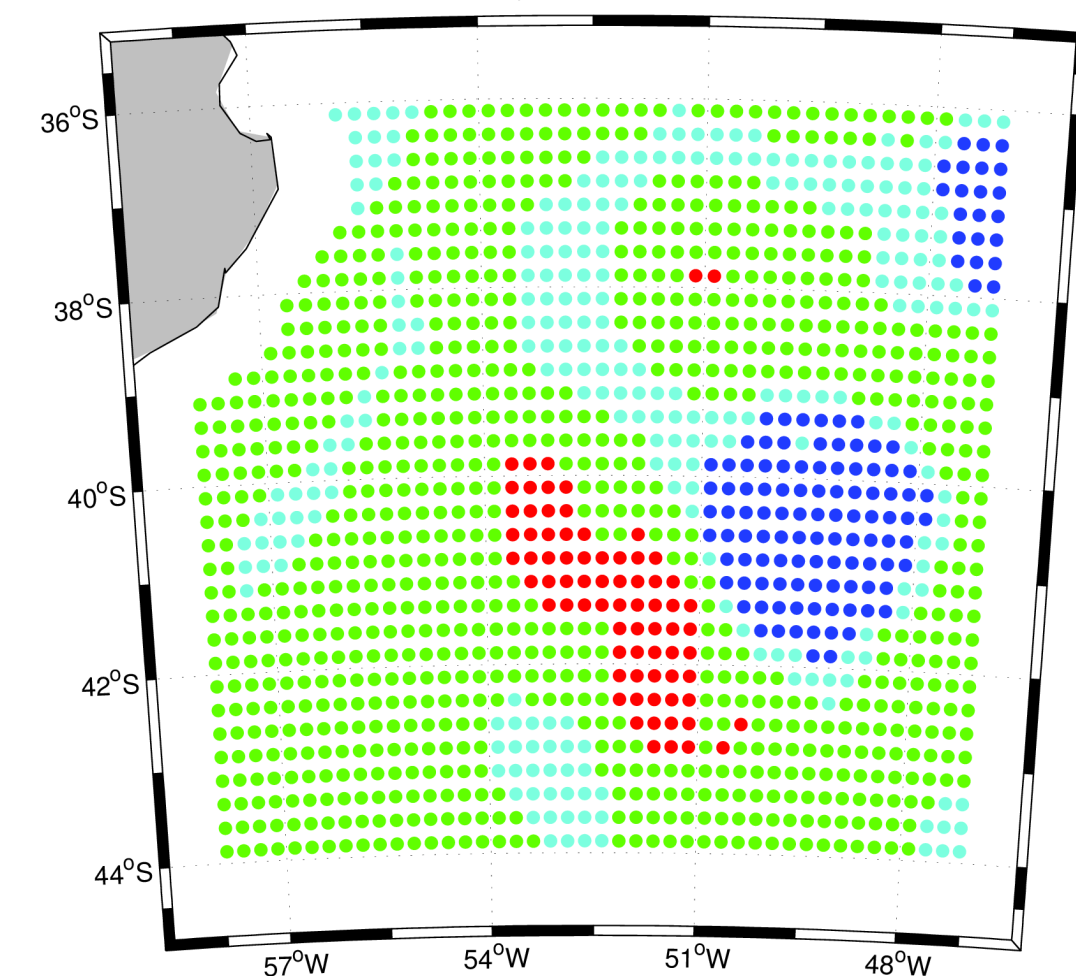
### □ Hidden Markov model:

$$\begin{array}{ccc}
 \mathbf{X}(s, t-1) & & \mathbf{X}(s, t) \\
 \downarrow & & \downarrow \\
 \mathbf{Y}(s, t-1) & & \mathbf{Y}(s, t) \\
 \uparrow & & \uparrow \\
 \dots \rightarrow \mathbf{Z}(s, t-1) & \rightarrow & \mathbf{Z}(s, t) \rightarrow \dots
 \end{array}$$

## Results

### □ Estimated latent variable (Z):

Estimated dynamical mode (Z)

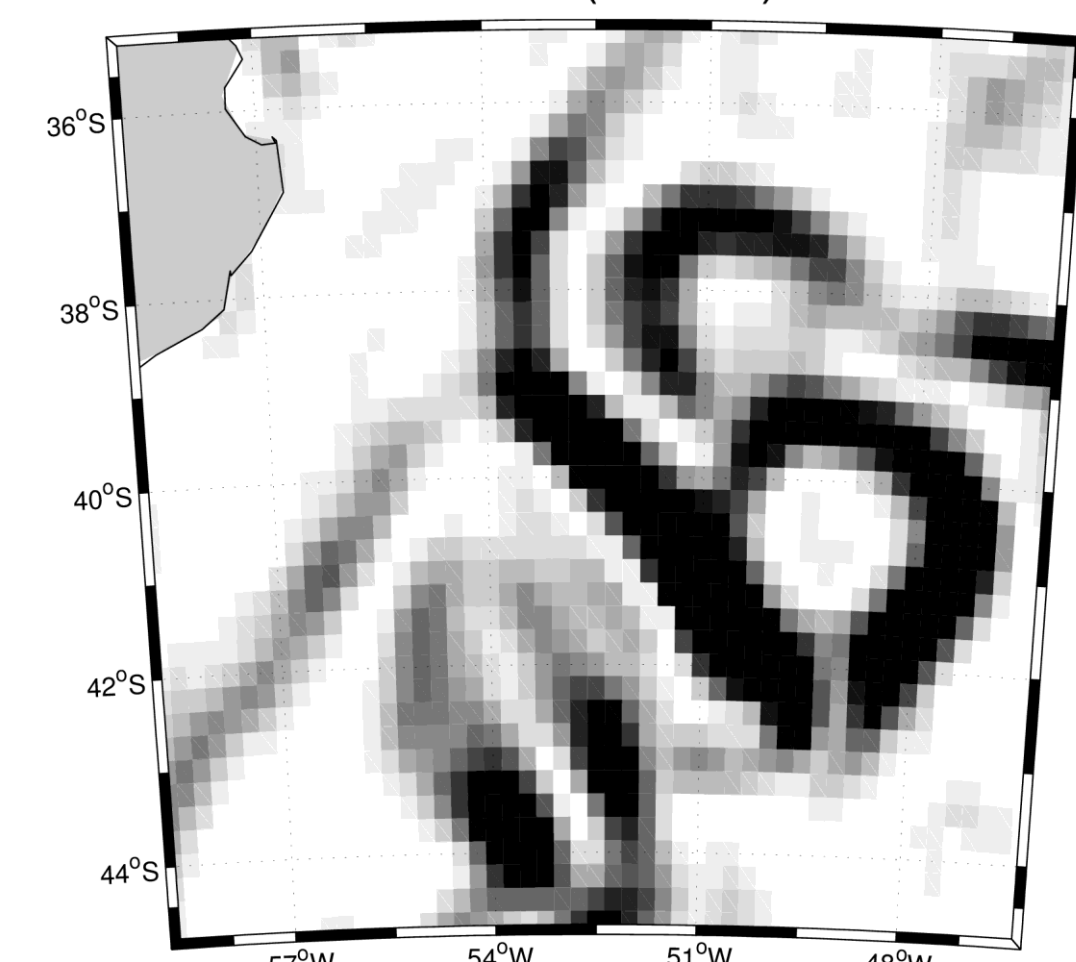


### □ Physical interpretation:

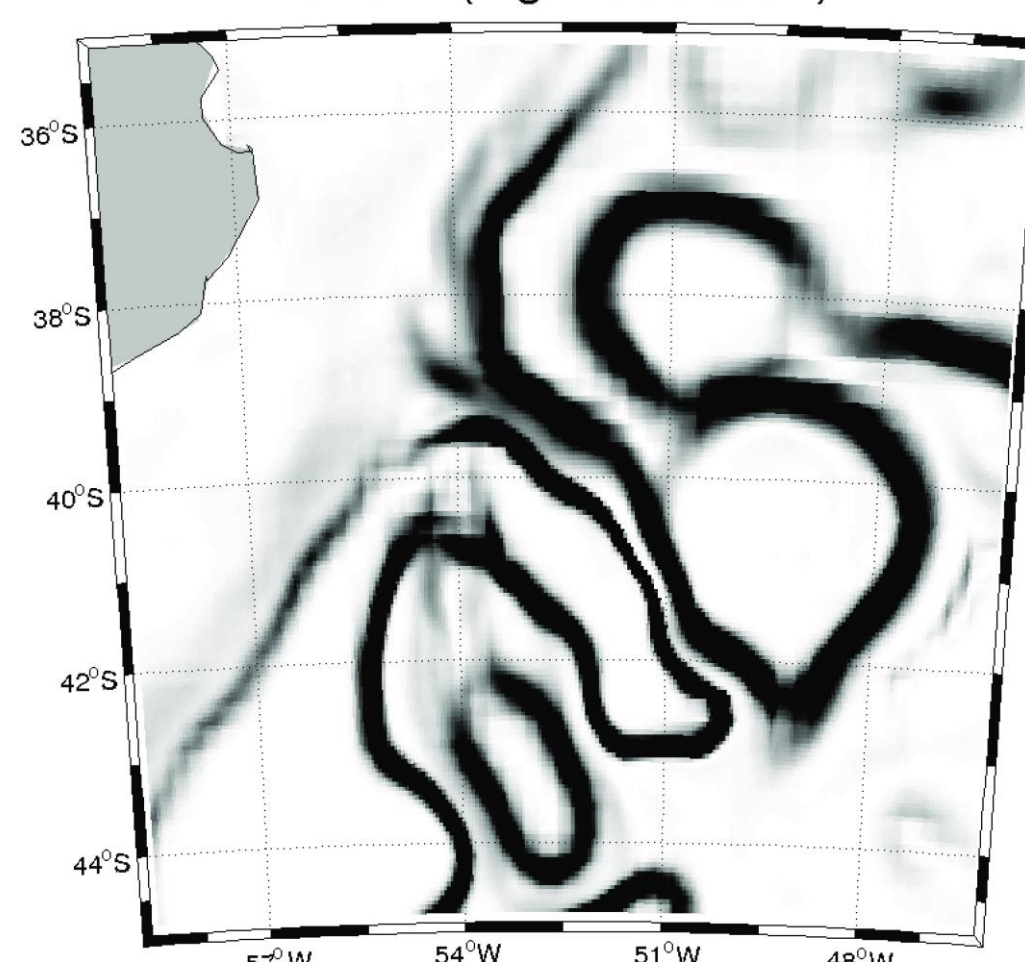
	Z=1	Z=2	Z=3	Z=4
<b>Temperature anomaly</b>	very cold	cold	very hot	hot
<b>Nutrient concentration</b>	high	variable	very low	low
<b>Current</b>	strong (cyclonic)	weak	strong (anticyclonic)	weak

### □ Estimated surface currents (Y):

$U^2+V^2$  (AVISO)



$U^2+V^2$  (high resolution)



## Conclusions

The Markov-switching latent class regression model provides a simple, parametric and physically interpretable approach to study the synergy between satellite sensors and geophysical parameters at the surface of the ocean. The considered case study within the Brazil-Malvinas confluence zone demonstrates that our model retrieves high-resolution space-time details which cannot be resolved by the classical altimeter-derived products.

## Background

Land Use and Land Cover Changes (LULCC) represent a key factor for a sustainable development.

Among LULCC, those linked to agriculture activity appears to be as the main source of the environmental degradation (water pollution, soil erosion, biodiversity reduction...).

Agriculture areas are characterized by very high spatio temporal changes generally monitored by remote sensing data (optical, SAR)

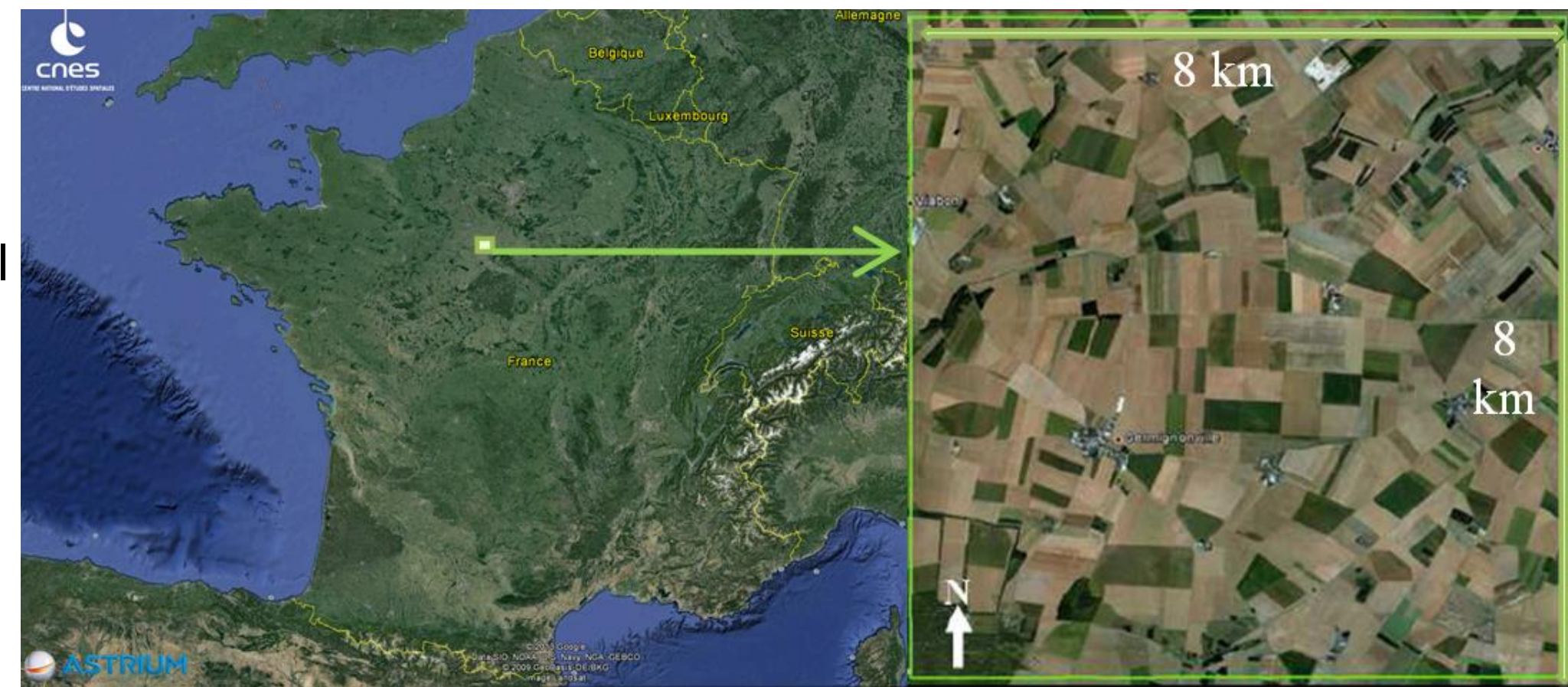
■ Synthetic Aperture Radar (SAR) sensors offer interesting potentialities for monitoring this type of land use (active remote sensing, very high spatial and temporal resolutions...)

## Objectives

■ Evaluate the use of multitemporal SAR data for land use and land cover classification in an area characterized by high spatiotemporal dynamics (crops successions, land use practices).

■ Evaluate the contribution of polarimetric information vs SAR data mono polarisation.

■ Evaluate "key data acquisition" for land use classification optimization in our study area.



## Auteurs

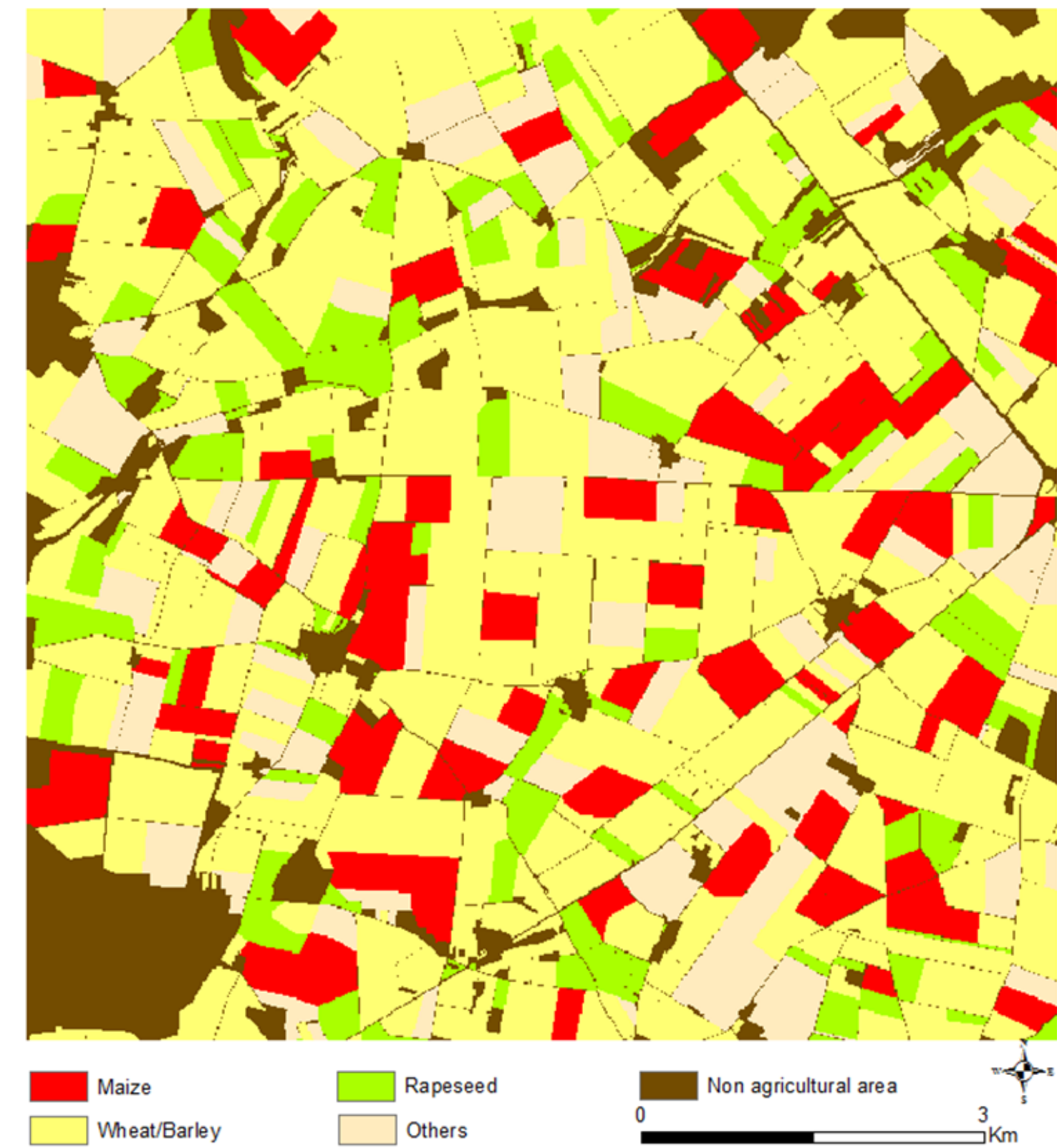
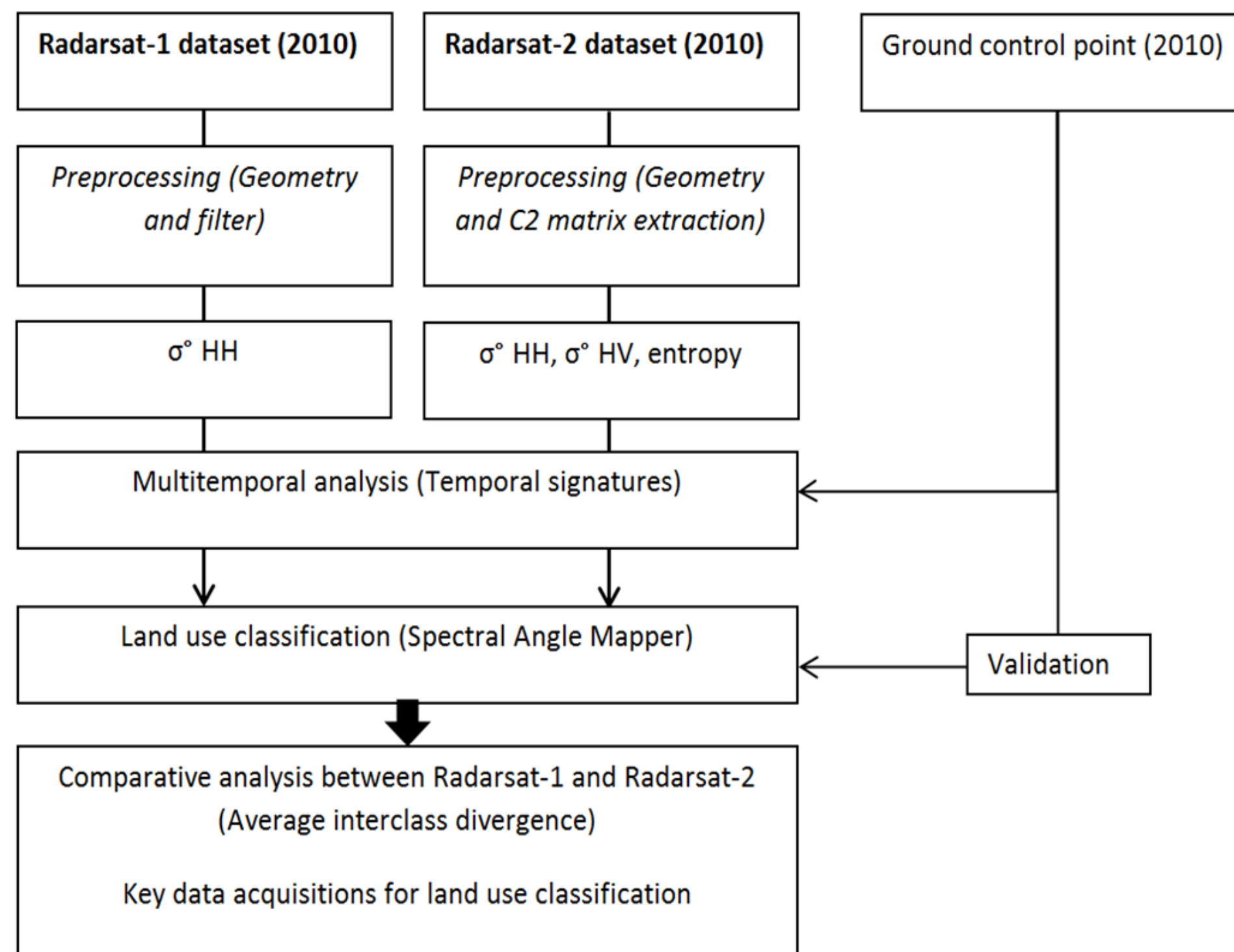
Grégoire Mercier  
Telecom Bretagne

Samuel Corgne  
Delphy Dallon  
UMR CNRS 6554 LETG  
Rennes – COSTEL

## Partenaires



## Data, methodology and results



■ Land use classification with the complete Radarsat 1 or 2 dataset provide a Kappa Index of 0.94 (Four types of land use : Maize, Wheat/Barley, Rapeseed, Others)

■ **Radarsat-1 dataset analysis with the average interclass divergence analysis:**

- Less informative images are identified in January (1/7 and 1/31) during the winter season (intercrop)
- More informative images are identified in May and August (5/7, 9/4 and 9/28) during major agricultural practices (sowing, harvesting...)
- Performance with the only 3 more informative images provides a severely degraded Kappa Index (0.2)

■ **Radarsat-2 dataset analysis with the average interclass divergence analysis:**

- Dynamic of the Kappa Index is much more concentrated with the Radarsat-2 data than with the Radarsat-1 data
- The three best dates identified are in may (5/19) , June (6/12) and November (11/27) and provide a Kappa Index of 0.88

## Auteurs

Grégoire Mercier  
Telecom Bretagne

Sébastien Giordano  
IGN / ENSG

Jean Paul Rudant  
ESYCOM / Univ. Paris Est

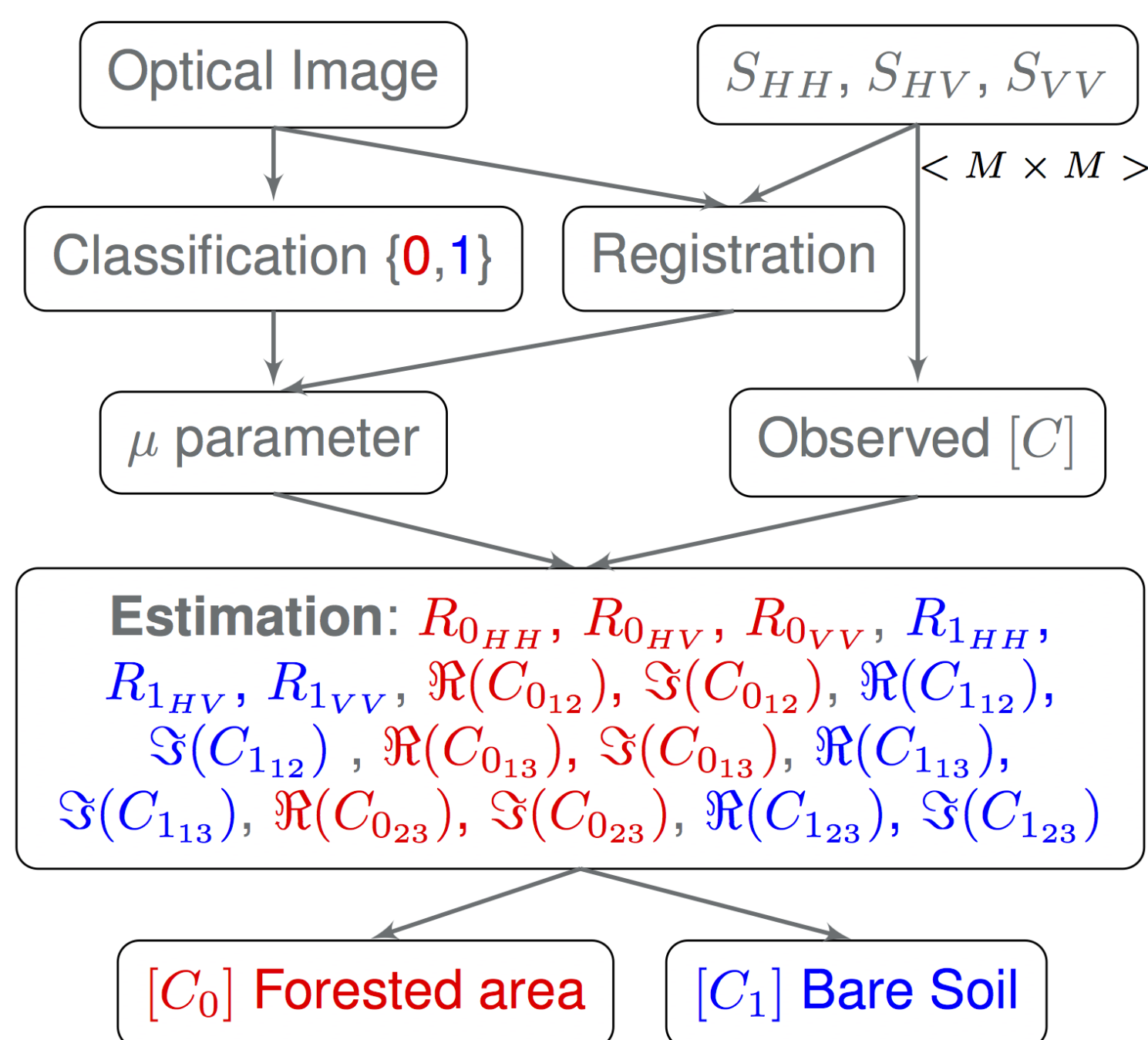
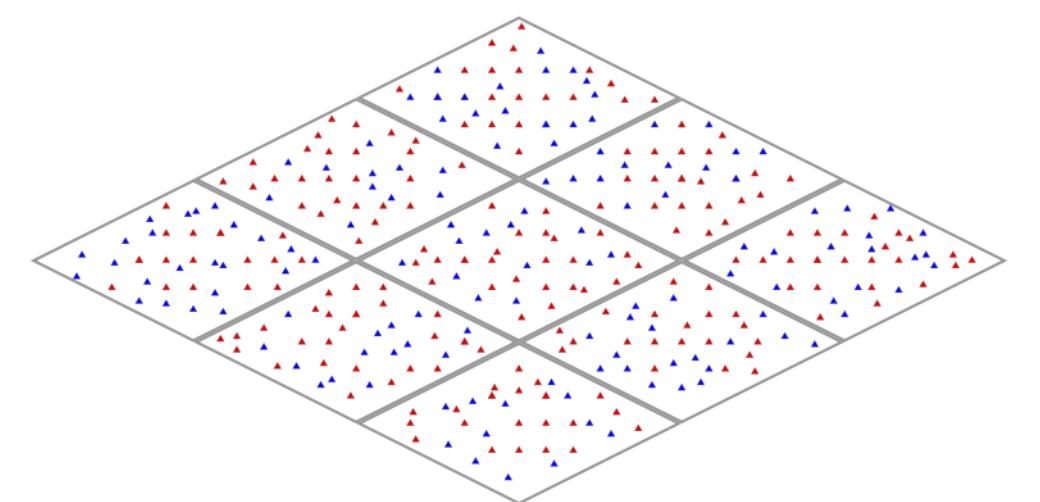
## Partenaires



## Decomposition polarimétrique en cas de mélange

### Principe

- La décomposition polarimétrique n'est pas robuste à un mélange de classes thématiques
- Proposition de démixage de signatures radar polarimétrique à partir d'une image optique très haute résolution
- Carte d'occupation des sols par décompositions polarimétrique par classe



### Méthodologie

#### Extension des hypothèses de Goodman

- Le modèle de mélange reste linéaire, même pour les matrices de covariances polarimétriques

$$[C] = \mu[C_0] + (1 - \mu)[C_1]$$

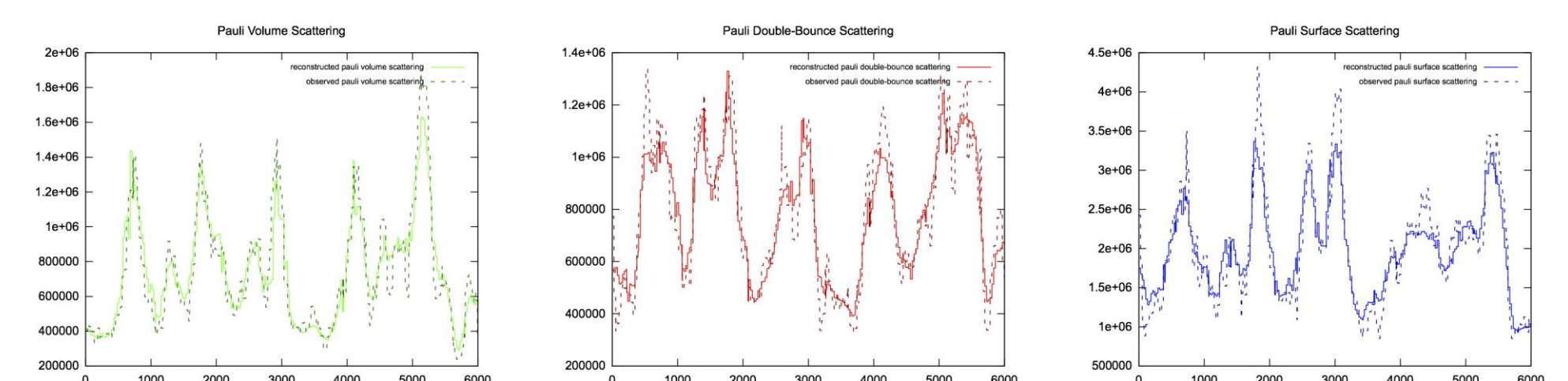
- Application à un problème à 2 classes : Forêt / sol nu

#### Données

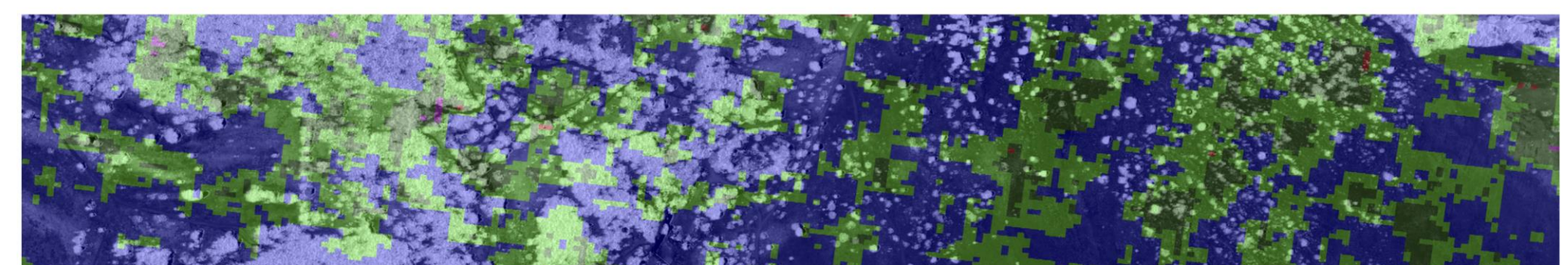
- Images SLC Full Pol 5m acquise le 27 juin 2012
- Images optique aéroportée, 25cm, acquise le 22 juin 2012
- Zone atelier de Forcalquier
- Transition entre des zones de forêt et des zones de sol nu

### Résultats

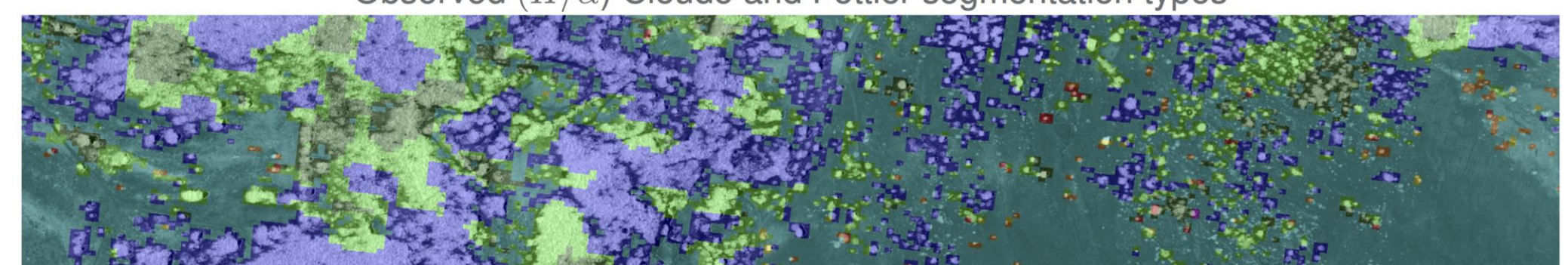
- Le modèle linéaire permet d'éclater l'information polarimétrique en fonction des classes d'occupation des sols
- Les termes diagonaux de la matrice de covariance (ou de cohérence) sont particulièrement bien reconstruits
- Les Résultats de décomposition cohérente par  $(H, \alpha)$  semblent très cohérent par classe d'occupation des sols.



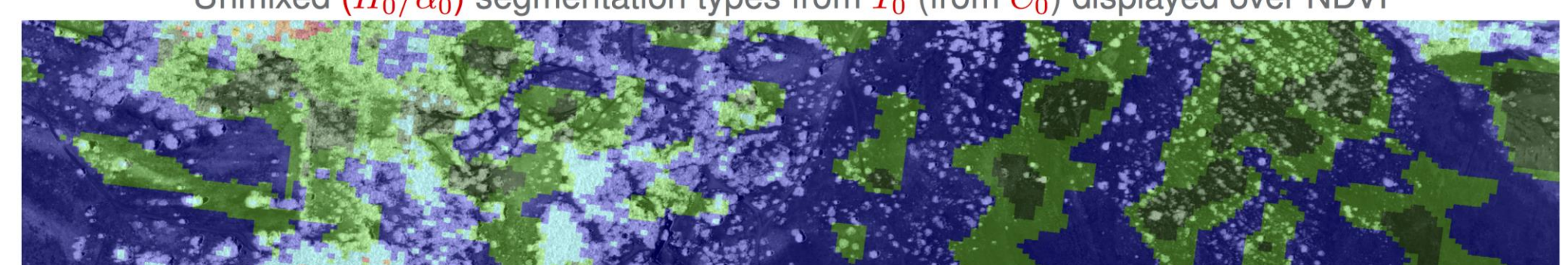
Observed and Reconstructed Pauli volume, double-bounce and surface scattering performed based on a transect



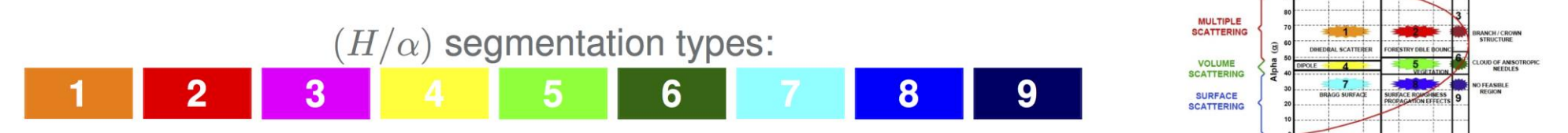
Observed  $(H/\alpha)$  Cloud and Pottier segmentation types



Unmixed  $(H_0/\alpha_0)$  segmentation types from  $T_0$  (from  $C_0$ ) displayed over NDVI



Unmixed  $(H_1/\alpha_1)$  segmentation types from  $T_1$  (from  $C_1$ ) displayed over NDVI



### Perspectives

- Evaluer finement l'influence du paramètre de mélange  $\mu$
- Evaluer la signification thématique des matrices de covariance  $C_0$  et  $C_1$
- Evaluer l'impact du démixage sur la caractérisation de l'occupation des sols dans les régions mixtes.

## Auteurs

Sylvain LOBRY (Télécom ParisTech/CNES)  
 Florence Tupin (Télécom ParisTech)  
 Roger Fjørtoft (CNES)  
 Jean-Marie Nicolas (Télécom ParisTech)

## Contexte

- Étude de la dynamique des eaux cruciale pour gestion des ressources et pour la compréhension des processus hydrologiques (ex: mousson).
- Récemment, données spatiales utilisées en plus des données acquises *in situ* pour les grands bassins (ex: l'amazone).
- Difficultés pour obtenir des données sur des bassins à largeur de l'ordre de 100m (ex: la Seine) car résolution trop faible.



SWOT

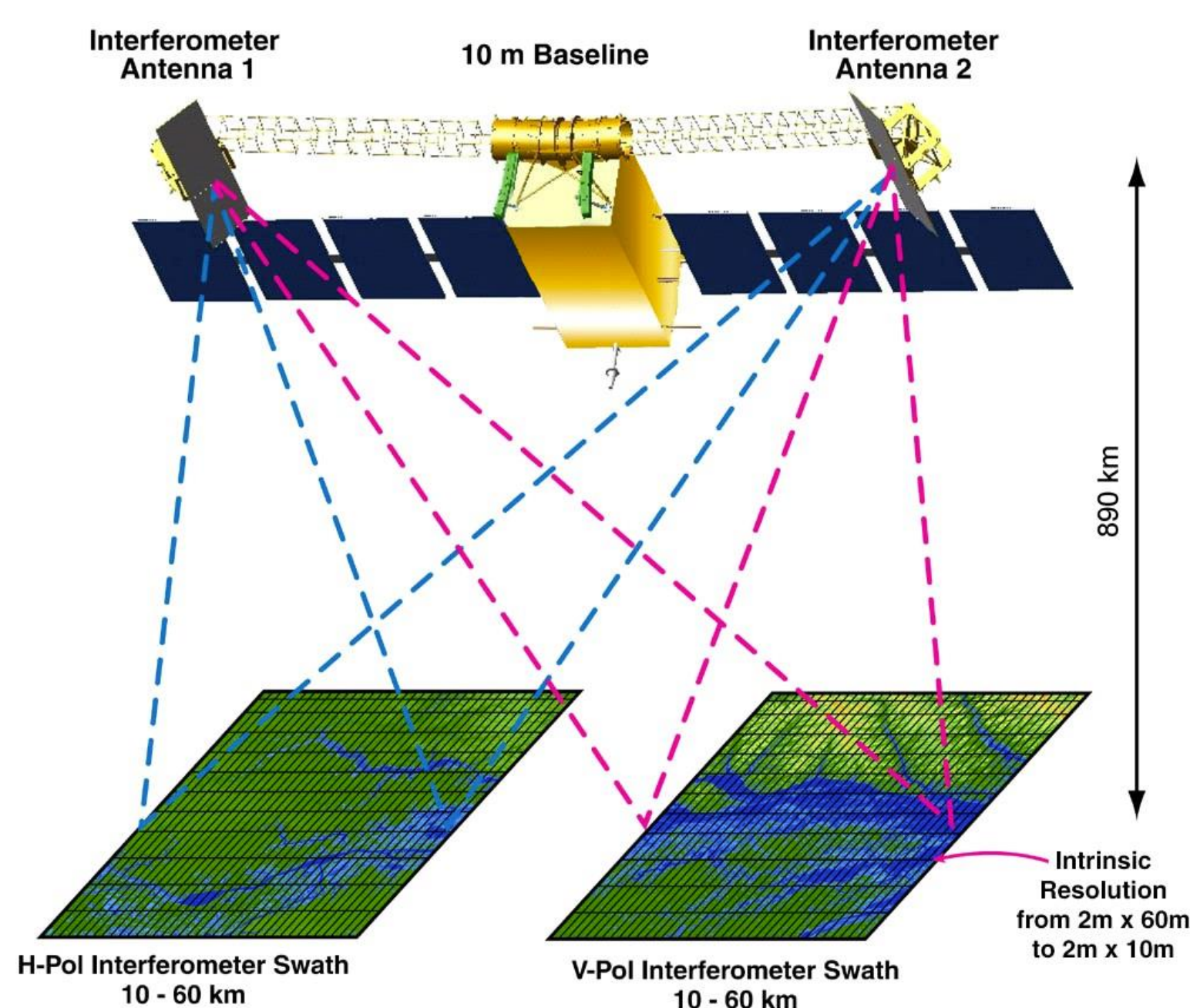
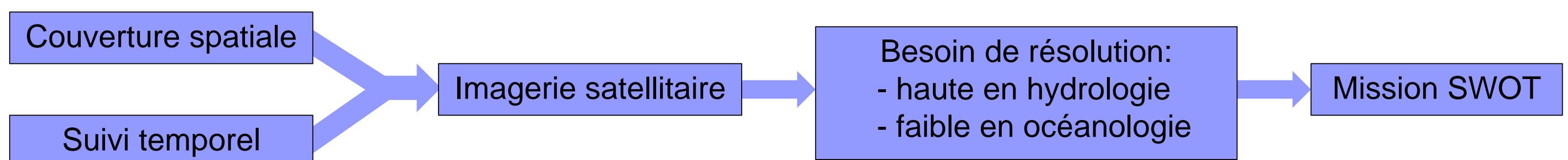


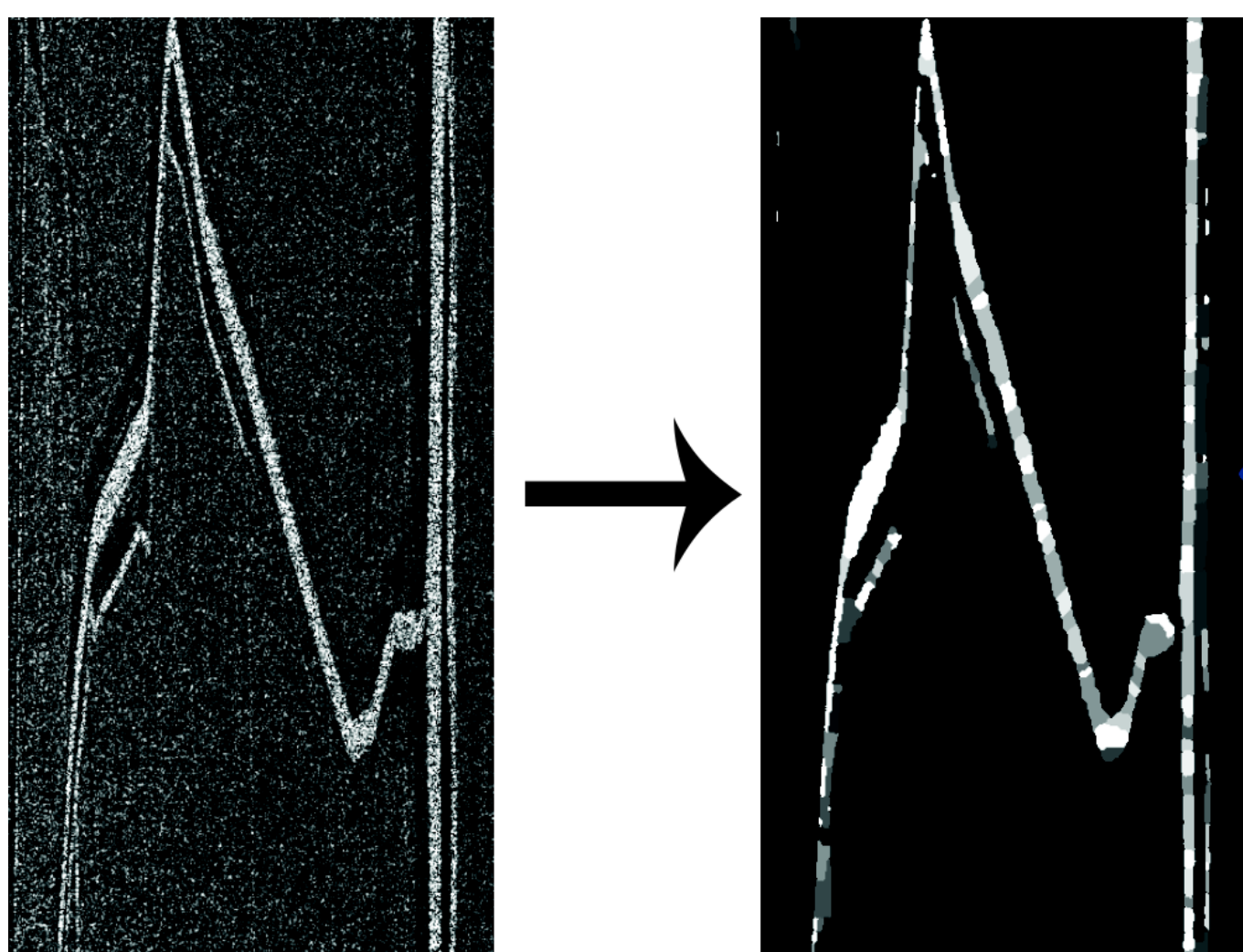
Schéma de SWOT- KaRIn

## Mission SWOT

- Mission menée par le CNES et la NASA.
- Utilisation d'un capteur radar interférométrique mono-passe.
- SWOT permettra d'obtenir des données avec une résolution de 5m x 10-70m.
- Temps de revisite de 22 jours pour un suivi dans le temps quelles que soient les conditions météorologiques.
- Eau non visible sur les systèmes radar classiques:
  - ⇒ Utilisation de la bande Ka (35.6GHz) afin de mieux faire ressortir les surfaces d'eau rugueuses.
  - ⇒ Angle de visée faible (entre 1 et 4°), mais implique fort effet de recouvrement.
- Travail en amont de la mission SWOT (2020), pas d'images représentatives et réalistes disponibles:
  - ⇒ Plusieurs simulateurs aux caractéristiques différentes (images représentatives mais pas forcément réalistes).
  - ⇒ Images aéroportées « AirSWOT » (angles d'incidences différents).

## Problématique

- Détecter les rivières fines à partir de 100m de largeur avec un taux d'erreur inférieur à 15%. Dans un second temps, les rivières à partir de 50m de largeur (avec un taux d'erreur inférieur à 25%).
- Image acquise corrompue par un bruit multiplicatif fort (bruit de chatoiement) inhérent à l'imagerie cohérente ainsi que du bruit thermique au niveau du capteur. Les techniques classiques de traitement des images ne sont donc pas directement applicables.



Exemple de résultat

## Travaux effectués et axes de recherche

- Deux stages et quatre études R&T réalisés au CNES sur cette problématique en amont de la thèse avec comparaison de différentes méthodes. Proposition d'une méthode au niveau pixellique par le JPL.
- Création d'un jeu de données plus conséquent et réalisation d'un protocole de test sur ce jeu de données.
- Approches de pré-traitements basées sur des approches non-locales d'estimation pour s'adapter à la forme du réseau.
- Approches multi-échelles avec intégration d'*a priori* et fusion.
- Intégration de l'information multi-temporelle.
- Collaboration avec Nicolas Flipo (Mines ParisTech) pour les aspects hydrologiques.





46, rue Barrault  
75634 Paris Cedex 13  
France  
Tél. +33 (0)1 45 81 80 80  
[www.mines-telecom.fr](http://www.mines-telecom.fr)

