

Atelier 9 : nouvelles méthodes et nouvelles techniques de développement instrumentales

Emilie MULLER, Damien JOUGNOT, David POINT, Clément LEVARD, Jérôme ROSE ...

Les Surfaces et interfaces continentales sont façonnées par l'interaction entre les roches, les sols, l'eau, l'air et les organismes vivants. Il s'agit d'une zone 'perméable', hébergeant des ressources essentielles comme les sols et l'eau, et un lieu d'intenses transferts et flux de matière (érosion, altération, transferts trophiques, etc.) appelée zone critique. Le cycle, la transformation des éléments et leur biodisponibilité sont grandement gouvernés par les interactions entre le vivant et le minéral.

Améliorer notre niveau de connaissances fondamentales des SIC se heurte à une multitude de verrous scientifiques et techniques. Les questions scientifiques que notre communauté aborde nécessitent une caractérisation des mécanismes et processus hydro-bio-physico-chimiques à différents niveaux d'intégration, du bassin versant jusqu'à l'échelle moléculaire. De plus les SIC se positionnent à l'interface de nombreuses disciplines confrontant les points de vue de géologues, géochimistes, géomorphologues, géophysiciens, écologues, biologistes (moléculaire), biogéochimistes, hydrologues, microbiologistes, écotoxicologues et bien d'autres.

Ces spécificités se répercutent sur les outils et techniques mises en œuvre. Voici dans la partie suivante les verrous essentiels que notre atelier a identifié en lien avec les développements technologiques et méthodologiques.

1-Prospective 2013 : un rapide bilan

Les verrous identifiés en 2013 se basaient sur la spécificité des échantillons et systèmes que nous abordons au quotidien ; Si l'on se focalise par exemple, sur la dynamique des contaminants, les spécificités restent similaires. En effet les niveaux de contaminations (en particulier organique) sont faibles (ng pour les hormones stéroïdiennes) et les matrices complexes. Il convient d'aborder les multi-contaminations, en intégrant la variabilité spatiale et temporelle des systèmes.

Néanmoins les verrous techniques et scientifiques identifiés lors de la prospective SIC de 2013 ont en partie évolué. Notamment grâce à différentes initiatives comme l'EQUIPEX CRITEX pour le développement d'un parc d'instruments géochimiques et géophysiques ainsi que la mise en place d'infrastructures d'observation et d'expérimentation telles qu'OZCAR (Observatoires de la Zone Critique Applications et Recherches ; regroupant entre autres les réseaux H+ et RBV). Ces sites d'études et les développements instrumentaux (à hautes fréquences spatiales et temporelles) ont permis de grandes avancées scientifiques pour la mesure et le suivi des systèmes hydrologiques, hydrogéologiques et bio-géochimiques.

La mise en place de plateformes dans le cadre des « investissements d'avenir » comme les projets Eco-X ou Nano-ID, permettent des progressions très significatives en termes de limite de détection, résolution spatiale et imagerie 3D.

Toutefois, de nombreux verrous scientifiques persistent :

2-Prospective 2017 : de nouveaux enjeux ?

Les approches pluri-échelles :

Mise à part certains exemples en science des matériaux, les questions autour du transfert d'échelle restent mal ou non résolues :

- Nécessité de mieux prendre en compte les effets d'échelles pour comparer les mesures ponctuelles (ex : sondes, capteurs) et les mesures intégratives sur un certain volume (ex : méthodes géophysiques, télédétection). Des travaux sont nécessaires sur le changement d'échelle des propriétés d'une part et des processus d'autre part. Ce dernier point est particulièrement critique dans les milieux hydrogéologiques dits complexes (porosités multiples, milieux fracturés et/ou karstiques).
- Nécessité d'améliorer la compréhension des physiques permettant de relier les paramètres mesurables (paramètres et signaux physiques ou chimiques) aux processus d'intérêts environnementaux qui les génèrent (processus hydro-bio-géo-chimiques). Pour ce faire, des expériences en laboratoires (sur des analogues bien contrôlés : mésocosmes / microcosmes) ou des expérimentations ciblées *in situ* (sur les sites instrumentés) sont nécessaires afin d'améliorer les modèles existants.
- Nécessité de d'améliorer la partie émettrice et/ou réceptrice des capteurs et leur sensibilité, en parallèle aux développements de méthodes numériques multi-échelles.
- Nécessité de développer les méthodes utilisant plusieurs instruments et plusieurs disciplines dans des approches couplées intégrant mesures et simulations numériques afin de mieux contraindre les modèles. Une proposition est de pousser le développement des méthodes dites de « data integration » ou d'inversion jointe pour mieux interpréter les données grâce aux nouveaux instruments de suivis hautes fréquences temporelles et spatiales. Dans le cas des analyses « omiques », il faut penser les futures plateformes d'analyses « omiques » comme des lieux de multi-compétences sans barrière entre métagénomique, métatranscriptomique, métaprotéomique et métamétabolomique. Il s'agit d'évoluer de la description vers la compréhension du fonctionnement des organismes et de leur réponse face à un environnement dynamique.

De la caractérisation statique vers la dynamique, de la caractérisation 2D/3D vers la 4D :

Un enjeu essentiel consiste à aborder la variabilité des systèmes dans le temps. Les mesures ponctuelles, aussi poussées soient-elles peuvent se révéler inappropriées par manque de représentativité statistique. Intégrer la dimension temporelle dans les analyses impose donc des technologies plus sensibles, capables de réduire les temps de comptage pour s'approcher de mesures en temps réel.

Les outils d'imagerie doivent évoluer vers des systèmes dynamiques.

Techniques de caractérisation structurales et chimiques non invasives et non destructives

Dans de nombreux cas les échantillons associant organismes vivants, tissus et objets inorganiques se révèlent fragiles (à la coupe par exemple), sensibles (à l'air par exemple). Les outils de caractérisations nécessitant une enceinte sous vide rendent la tâche difficile. Les développements récents de techniques tomographiques permettent d'imager, numériser, explorer et modéliser en 3D nos échantillons SIC. Néanmoins les outils actuels de laboratoire ne permettent pas forcément de combiner les caractérisations physiques (texturales, structurales) et chimiques. Comment réaliser les couplages ?

Les approches expérimentales intermédiaires

Déjà précédemment indiqué, il convient de faire évoluer nos méthodologies associant des expériences simplifiées en laboratoire à des études de terrain. Des approches expérimentales de type « mésocosme » qui se développent actuellement sont à encourager, en complément des précédentes. Elles présentent l'avantage de prendre en compte la complexité des processus bio-physico-chimiques se produisant dans l'Environnement (transferts trophiques (producteurs primaires, consommateurs), (bio)distribution, (bio)transformation, hétéro-agrégation, adsorption, etc.), et d'étudier ces processus sur le moyen- voire le long-terme.

Le screening « haut-débit » :

Ce point découle en partie du passage à la « 4D » lorsque la dimension temporelle est abordée. Mais le « screening haut débit » permet aussi d'appréhender la grande hétérogénéité des systèmes d'étude. En particulier la transition entre les technologies de séquençage de seconde génération (aussi appelé 'massive parallel sequencing' ou 'next generation sequencing') et troisième voire quatrième génération est bien entamée.

La gestion des grands 'jeux de données' : leur stockage et leur traitement

Qu'il s'agisse de données issues des plateformes d'analyses « omiques », ou issues d'analyses géochimiques (isotopiques), spectroscopiques, microscopiques, tomographiques sur rayonnement synchrotron, etc... leur quantité a augmenté TRES significativement depuis le précédent exercice de prospective. Si la question du stockage et du traitement (statistique,...) des 'big data' est soulevée depuis longtemps il s'agit toujours d'un facteur limitant.

Vers des SIC 'participatives' : Observatoires numériques participatifs de suivi des milieux aquatiques

Un enjeu majeur de notre communauté pour les prochaines années est le développement de stratégies d'observation participatives des milieux aquatiques animés par du personnel non-expert capable de générer, ou participer activement à la production de données d'observations isotopiques, moléculaires ou élémentaire à haute résolution spatiale et temporelle dans les écosystèmes aquatiques. La science participative peut représenter une possible réponse aux verrous de la variabilité temporelle, et des acquisitions de données à haut débit. La mesure actuelle de ces paramètres est essentiellement une affaire de spécialistes nécessitant des compétences techniques et scientifiques incompatibles avec un besoin croissant d'observations isotopiques, moléculaires ou élémentaire à haute fréquence, haute résolution et pour différentes interfaces dans les hydrosystèmes.

Cet objectif nécessite de 1) développer des technologies *in situ* de préconcentration dynamique, ou passives innovantes, efficaces, rapides et simples à mettre en œuvre utilisant par exemple des supports adsorbants nanostructurés spécifiques et/ou le développement de microcapteurs *in situ*, stables, sensibles et robustes et à bas coûts, 2) interfacier ces technologies autour de l'utilisation d'applications mobiles par smartphone permettant de faire fonctionner des capteurs, rapatrier des données *in situ* et/ou identifier, organiser et gérer les flux de supports/capteurs de préconcentration entre les observateurs et les laboratoires, 3) dématérialiser la synchronisation, l'archivage et la gestion des données d'observation dans « le cloud » via la mise en réseaux des données issues de l'utilisation d'application mobiles par les observateurs.