**Atelier 6**

|  |  |
| --- | --- |
| **Titre de l’atelier** | **Stocks et ressources naturelles (eau, carbone et métaux critiques) : leur durabilité dans un contexte de changement global et de limites planétaires** |
| Nom(s), prénom(s), Adresse(s) mail des coordinateur.trice.s | Christelle Marlin et Juliette Blanchet  [christelle.marlin@universite-paris-saclay.fr](mailto:christelle.marlin@universite-paris-saclay.fr)  [juliette.blanchet@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:juliette.blanchet@univ-grenoble-alpes.fr) |
| Membres du groupe d’animation de l’atelier | Pierre Barré, Julien Boé, Jean-Martial Cohard, Yoann Copard, Carole Dalin, Jérôme Demarty, Bertrand Guenet, Florence Habets, Lionel Jarlan, Clément Levard |
| Date/version du document | 30-01-2024 |

**1/ Mode de fonctionnement de l’atelier**

L’Atelier comporte 12 membres. Il s’est réuni 4 fois depuis début novembre 2023.

Dans un premier temps, les différentes étapes du travail ont été les suivantes:

1. Réflexion en groupe sur le périmètre de l’atelier, ce qui a conduit l’atelier à s’intituler « Stocks et ressources naturelles (eau, carbone, énergie et métaux critiques) : leur durabilité dans un contexte de changement global et de limites planétaires »
2. Lecture et synthèse des fiches Prospectives SIC issues de la consultation de l’été 2023
3. Travail sur une proposition de plan mettant en avant les grandes questions scientifiques et méthodologiques autour des principaux stocks et ressources naturelles (en SIC), leurs interactions (à travers de nexus), les interfaces avec les autres domaines de l’INSU et instituts du CNRS et les nouveaux besoins en matière d’outils.

Dans un deuxième temps, un document martyr a été préparé pour un partage avec la communauté avant le colloque de prospective. Celui-ci contient les grandes questions scientifiques identifiées pour le thème de l’Atelier. Ces grandes questions sont celles identifiées 1) dans les fiches de la consultation de la communauté SIC durant l’été 2023 et 2) par le groupe de travail préparant l’Atelier 6. Mise en ligne : 8 - 25 janvier 2024.

**2/ Contribution scientifique**

*Vous trouverez dans cette partie le bilan des contributions scientifiques à l’Atelier 6 que nous avons choisi d’ organiser à ce stade 1) en grandes catégories de ressources et de stocks de ressources naturelles (avec des problématiques qui leurs sont propres) et 2) en plusieurs grandes questions scientifiques (défis) inter-ressources/stocks.*

**2.1 Les grandes catégories de ressources identifiées en SIC sont les suivantes** : 1) Ressources en eau, 2) Ressources trophiques, bio, nutritives - stocks bio, 3) Stocks de carbone, 4) Ressources énergétiques (Basse Température), 5) Ressources minérales.

1. Ressources en eau
   * Ressources en eau, "anthropisation" et/ou changement climatique
   * Apport de l’AI dans la connaissance des ressources en eau
   * Hydrogéologie urbaine : aquifères, recharge/nappes et qualité des eaux
   * Salinisation des hydrosystèmes côtiers
   * Ressources en eaux et contaminants
   * Ressources en eau alternatives (par exemple : les eaux usées)
   * Mieux quantifier la recharge des aquifères par des approches multi-méthodes (en y incluant une valorisation des données de lysimètres)

2) Ressources trophiques, bio, nutritives - stocks bio (*titre et contenu à revoir*)

* + Altération de la ressource trophique (biodiversité aquatique) par la pression anthropique et le changement climatique (surtout en milieux côtiers et estuariens)
  + Enjeux liés au cycle biogéochimique N et P : impact de l’Homme sur N et P associé à une perturbation des écosystèmes (nitrates, eutrophisation) aquatiques ainsi qu'une diminution de la ressource en eau.
  + Biomasse et leur transformation. *A développer.*

3) Stocks de carbone

* + Vers une meilleurs caractérisation et modélisations des stocks et des flux dans les écosystèmes continentaux / puits naturels/ émissions futures des projets de nouvelles exploitations d’hydrocarbures envisagées par l’industrie. A discuter.
  + Étude géochimique de ressources minérales, des réactions impliquées dans le captage, stockage et valorisation du CO2

4) Ressources énergétiques (Basse Température)

* + Bioréacteurs : les interfaces solide-solutions-microorganismes dans des stratégies de production d’énergie durable et renouvelable
  + H2 naturel (énergie naturelle des roches)
    - Rôle des microorganismes consommant ou produisant de l’hydrogène
    - Quelle vision de l'interface souterrains profonds/"surface" ?
  + Impact environnemental liée à l’exploitation
    - Utilisation et le (non) recyclage des matériaux des énergies non renouvelables
    - Contrôle de l'intégrité à long terme des réservoirs et les processus chimiques et biochimiques in situ (CO2, H2)

5) Ressources minérales

* + Cycles bio-géochimiques des éléments stratégiques / Nécessité d’une approche cycle de vie et multidisciplinaire/interdisciplinaire & Caractérisation et dynamique des particules anthropogéniques
  + Formation, Croissance, Stabilité
  + Impact environnemental (pré- et post-exploration) de l’exploitation des ressources minérales
    - Compréhension des interactions multiples des cycles bio-géochimiques des métaux critiques et de leurs perturbations
    - Gestion des stériles miniers
    - Exploitations en milieu arctique
    - Compréhension de la résilience des écosystèmes perturbés
    - Effets des perturbations liées à l’extraction minière en milieu profond
    - Risques de contamination et de perturbation des écosystèmes par la minéralurgie urbaine
    - Développement de procédés sobres d’extraction de métaux critiques
  + Exploration de nouveaux gisements de métaux critiques (sources primaires, secondaires, mine urbaine)
  + Pressions sur les gisements de métaux critiques dans le Sud global pour décarboner les énergies des pays du Nord

**A discuter lors des prospectives à St Malo**

Manque identifié sur le ressources en sols *Pas de fiches clairement sur le sujet*

**2.2** **Les questions de recherche ont entre autre été déclinées pour les milieux particuliers** que sont l’urbain, la forêt, les montagnes, les zones humides, les zones intertropicales, le pergélisol, les karsts, les interfaces terre-mer, les territoires du futur (sous le prisme des bassins versants, impactés par le changement climatique, l’urbanisation, l’agriculture intensive, etc.)

**2.3 Les pistes de réflexion de recherche plus transverses peuvent être catégorisées en 5 grands défis :**

* Défi de l'intégration de la composante humaine dans la modélisation des ressources, afin de répondre au mieux aux enjeux sociétaux autour des ressources se posant dans le contexte des changements globaux.
  + Comment mieux comprendre, caractériser et simuler les socio-hydrosystèmes, en prenant en compte les influences humaines (comme l’irrigation et les stockages, changement d’usage des sols comme la déforestation…), en faisant le lien si besoin avec les problématiques socio-économiques, de santé (contamination etc.) ou d’énergie.
  + Comment quantifier et prendre en compte des impacts multiples du recul de la cryosphère, actuels et futurs, sur les ressources à usages socio-économiques dans les massifs (par exemple eau potable, neige de culture, hydroélectricité) et plus à l’aval (irrigation, refroidissement des centrales nucléaires, etc.).
  + Comment évaluer l'impact de l'urbanisation sur le comportement hydrodynamique des nappes (imperméabilisation des sols, fuites de réseaux, ouvrages souterrains…) ?
  + Comment mieux comprendre le couplage Homme / Climat sur la qualité de l’eau à la fois dans les bassins versants mais aussi aux interfaces Terre-Mer.
  + Quelle perturbation anthropique de la ressource en N (atmosphère) et P (Terre interne) via leur utilisation comme fertilisants agricoles ou les lisiers ?
  + Quelle durabilité et évolution des stocks de carbone, quelle sensibilité au changement global, quels effets des changements des pratiques agricoles sur les stocks à long terme (fraction labile et réfractaire) et quels scénarios sous impact du changement climatique ?
  + Comment modéliser l’évolution de la ressource en carbone en intégrant des modèles climatiques et macro-économiques ?
  + Comment anticiper l’impact cumulé des réservoirs et des seuils/obstacles à l’écoulement sur les différents compartiments : hydrologie, hydrogéologie, sédiment, température, biodiversité… ?
  + Proposer et réaliser un scénario géographique, hydrologique et socio-économique de reméandrage de cours d’eau (inverse de la linéarisation généralisée dans les 50 dernières années) à l’échelle des masses d’eau de gestion comme alternatives aux petites retenues et bassines qui ne fonctionnent ni pour les conditions extrêmes humides ni sèches.
* Défi de la caractérisation correcte des incertitudes en jeu, de l'amélioration des modèles et des méthodologies
  + Quel potentiel de nouvelles approches basées sur l'IA, ou d'approches hybrides Machine Learning / modélisation physique pour réduire le coût numérique de la modélisation classique, améliorer la représentation des processus sous-maille, améliorer la qualité des modèles, et pouvoir estimer plus finement les incertitudes en jeu ?
  + Quelles nouvelles approches de scénarisation complémentaires à l’approche classique basées sur l'utilisation de projections climatiques, en raison des déficiences éventuelles des modèles climatiques (sous-estimation de la variabilité basse fréquence etc.) et meilleure caractérisation de la variabilité naturelle ?
* Défi autour de l’interaction entre les ressources
  + Quelles interactions entre carbone, azote et eau ? dans le cadre de l'usage des sols et des changements d'usage des sols: déforestation (ou reforestation), expansions de cultures/prairies (ou leur abandon). Besoin de modèles intégrés de la parcelle au continent, avec les données correspondantes.
* Défi autour du Nexus Eau-Alimentation - Energie
  + Quelles solutions (transitions agro-écologiques) pour une gestion durable des ressources en eau dans les agro-écosystèmes ? Comment préserver les sols pour une production alimentaire durable et saine ?
* Défi de l’observation
  + Besoin d’observations acquises sur une très large gamme d’échelles spatiales pour quantifier les stocks, les flux, les processus et les taux de renouvellement des ressources.
  + Valorisation des données satellitaires en particulier celles acquises lors des missions récentes ou à venir (ex : SWOT, FLEX, BIOMASS, TRISHNA, GRACE-FO, CIMR), avec évaluation du potentiel d’utilisation conjointe de type multi-capteurs et/ou multispectrale.
  + Développement de nouvelles méthodes bas-coûts et bas-carbone (cf. Terra Forma), dans le but d’augmenter la résolution spatiale et/ou temporelle des réseaux d’observation. Intérêt potentiel pour les suivis de la pluviométrie en milieu urbain, des usages agricoles, de l’état général des sols ou l’étude des changements de volume (nappes, lacs, rivières et glaciers).
  + Valorisation et dissémination des données des réseaux d’observation, notamment celles diffusées au travers de portail de données (THEIA-OZCAR), mais aussi vers le grand public et les décideurs.
  + Développement de protocoles d’observation, tels que ceux des flux de contaminants, de quantité et qualité (labile / réfractaire) de la matière organique stockée. Croisement des différents types de mesures (hydrologiques, écophysiologiques, géophysique, géochimie, spectroscopie, …).
  + Poursuivre l’effort de co-localisation et d'intégration des observations engagé depuis CRITEX, OZCAR en particulier avec les ZA dans la dynamique eLTER avec une approche WAILS dans le but d’y acquérir une connaissance toujours plus intégrée du fonctionnement de la zone critique et de la disponibilité/renouvelabilité  des ressources.
  + Besoin de renforcer, par des dispositifs d'observation de référence in-natura  (lysimètre, collecteur/préleveur, ...), les interfaces atmosphère-surface et surfaces, zones privilégiées d’interactions des processus éco-hydro(géologiques) et où des incertitudes demeurent sur la plupart des flux d'eau (pluie, ETR, recharge), de carbone et de matière (N, P, minéraux ...).
  + Sciences participatives pour l’évaluation des ressources et des stocks : intérêt de les développer ? pour répondre à quelle(s) question(s) ? pour des réseaux existants, mais dont l’extension spatiale décroît ?
    - Intégrer la société civile dans les observations/questions de recherche. Proposition de création de « living labs » interdisciplinaires et ouverts sur la société civile afin de promouvoir une vision socio-écosystémique intégrée et renouvelée des ressources.
    - Créer un réseau participatif d’observation des assecs,  de mesures piézométriques, de mesures pluie/neige/température, ….
  + Besoin de reconstruire des données d’archives décrivant l’état et la variabilité long terme des stocks et des usages (exploitation d’image déclassifiées, carotte de sédiment, rapports d’archive, …).

**3/ Aspects transverses**

*Décrire les aspects transverses (formation (apprentissage, continue, …), moyens, les RH/métiers/compétences/outils à maintenir/développer/inventer, l’égalité des chances, Recherche au Sud, responsabilité environnementale …) identifiés lors du travail préliminaire en atelier (non finalisé). Exprimer les besoins éventuels qui seraient spécifiques aux aspects transverses à discuter et à qui ils doivent être adressés.*

* Besoin de recherches interdisciplinaires transverses impliquant les SHS, permettant l’intégration des connaissances sur le fonctionnement socio-hydrologique des bassins versants.
* Besoin d'interdisciplinarité impliquant biologie / chimie / physique.
* Besoin de renforcer les observatoires permettant de lier les communautés OA/SIC/TS et plus généralement de renforcer les discussions entre communautés (OA - SIC - SHS - INC – INSB).
* Permettre l’amélioration de la mise à disposition des données (IR et au-delà).
* Développer des compétences autour des big data et de l’IA.
* Développer la recherche comme la formation portant sur l’étude des ressources naturelles vers l’économie, le droit ou la sociologie.
* Développer des filières de formations transversalement entre le vivant (socio-écosystèmes) et le milieu physique.
* Comment permettre que les décideurs et les politiques publiques sur les enjeux des ressources se fondent sur les dernières connaissances dans le domaine ?
* Transversalement à tous les ateliers : Faire un bilan de l’existant : quelles données pour quels modèles pour répondre à quelles questions ? Les données nécessaires sont-elles inexistantes ou ne sont-elles pas accessibles ?

**4/ Eléments éventuels pour alimenter le bilan des dernières prospectives**

*Identifier les éléments de bilan des dernières prospectives SIC 2017-2022 (~≤10 lignes – non finalisé) qui ont été traités et comment ceux-ci alimentent la présente prospective (par ex : nouvelles thématiques/compétences, nouveaux outils/métiers qui n’auraient pas été identifié.e.s lors des dernières prospectives, thématiques qui auraient particulièrement avancé ou bien au contraire qui n’auraient pas pu se développer au regard des objectifs annoncés dans les dernières prospectives).*

Les ressources n’étaient pas identifiées comme un thème fondateur mais se retrouvaient de manière diffuse dans le document de prospectives 2013-2017 notamment dans le chapitre “flux de matière, d’énergie, altération, érosion”.