

**Prospective SIC 2023**  
**Document de synthèse préliminaire des ateliers**

<b>Titre de l'atelier</b>	<b>Intégration des différentes échelles d'espace et de temps dans l'étude de la zone critique</b>
Nom(s), prénom(s), Adresse(s) mail des coordinateur.trice.s	Anne Alexandre ( <a href="mailto:alexandre@cerege.fr">alexandre@cerege.fr</a> ), Julien Bouchez ( <a href="mailto:bouchez@ipgp.fr">bouchez@ipgp.fr</a> )
Membres du groupe d'animation de l'atelier	Pierre Amato, Etienne Balan, Jérôme Gaillardet, Pierre Barré, Cécile Gautheron, Christine Delire, Cornelia Rumpel
Date/version du document	22/01/2024

**1/ Mode de fonctionnement de l'atelier :**

Début Novembre : Les coordinateurs ont élaboré la première version d'un tableau verrous/objectifs/actions compilant les contributions de la communauté SIC remontées durant l'été 2023. Les éléments mentionnés dans les prospectives précédentes sur le sujet (Prospectives SIC 2017, Livre Blanc Paléo, OZCAR 2.0, OZCAR-RZA...), et paraissant toujours d'actualité, ont aussi été pris en compte. Sur la base des remontées de la communautés, quatre *questions/verrous* ont été identifiés. Pour proposer des pistes permettant de répondre à ces questions, ont été listés des *objectifs* qui concernent objets d'étude, observations, ou modélisation et des *actions* précises s'orientant vers ces objectifs

20/11/2023 : Le tableau est partagé avec tous les membres du groupe d'animation pour qu'il soit complété/modifié.

05/12/2023 : Le tableau modifié par le groupe a été re-organisé et re-synthétisé par les coordinateurs.

11/12/2023 : Le nouveau tableau est envoyé à la CS SIC et aux membres du groupe d'animation.

15/12/2023 : Le tableau est partagé avec toute la communauté SIC, avec un fichier où pourra être noté tout commentaire.

06/02/2024 : Les 4 questions/verrous seront discutés en détail lors du colloque de prospective : il sera tenté de préciser, compléter et hiérarchiser les actions proposées.

Des recouvrements existent avec tous les autres ateliers, mais en particulier avec les ateliers 2 (« Outils/données/connaissances »), 3 (« Observons nos observatoires »), et 4 (« Interfaces et continuums dans les SIC »).

**2/ Contribution scientifique :**

**Comment appréhender les différentes échelles de temps dans l'étude des SIC?**

**Objectifs**

- Prendre en compte l'évolution passée des SIC pour comprendre leur fonctionnement actuel (interaction avec le climat, ressource en eau, aménagement...etc)
- Impact des transitions climatiques et des événements extrêmes passés (crues,sécheresses, événements hydro-météo-marin de forte énergie)
- Prendre en compte les processus évolutifs dits "courts" (ex.: bactéries)

**Actions**

- Cibler (acquisition de données, modélisation) des périodes-clé quaternaire et au delà (Holocène, transitions glaciaires-interglaciaires, Paléocène-Eocène (ex. : « Thermal Maxima »))

- Développer les rétro-observatoires avec une instrumentation adaptée pour enregistrer les évènements extrêmes actuels (déploiement de mesures haute-fréquence)
- Affiner les méthodes de datations des profils d'altération (minéraux secondaires): datations (U-Th)/He, déséquilibre U/Th, OSL et <sup>14</sup>C *in situ*
- Identifier de nouveaux marqueurs de l'Anthropocène
- Développer les clés d'interprétation de l'ADN environnemental
- Renforcer les interactions des communautés SIC et Paléo

## **Comment appréhender les différentes échelles spatiales dans l'étude des SIC?**

### Objectifs

- Mieux contraindre les mécanismes moléculaires de croissance et d'altération des minéraux basse température (nucléation, croissance cristalline, dissolution, réprécipitation)
- Quantifier le rôle du compartiment colloïdal sur les flux à grande échelle (sol-végétation-atmosphère; bassins versants)
- Prendre en compte la diversité microbienne et virale et les mécanismes cellulaires à l'échelle des écosystèmes
- Renseigner les interactions entre variabilité environnementale et dynamique des populations (distribution, acclimatation, évolution)
- Comprendre le rôle des processus de stabilisation du carbone organique à micro-échelle pour les cycles géochimiques globaux
- Passer des mécanismes à l'équilibre aux mécanismes cinétiques et chemins réactionnels

### Actions

- Changer d'échelle par le biais de campagnes spécifiques, permettant de documenter le bilan de masse sur de grandes distances (ex: raids en terre polaire, transects latitudinaux)
- Développer des réseaux d'observations coordonnés (maillage spatial de variables d'intérêt pour interpolations et extrapolations spatiales)
- Développer des approches simples pour caractériser la diversité fonctionnelle basée sur les traits
- Développer l'utilisation des méthodes spectroscopiques et d'imagerie (STXM, MET, nanoSIMS) pour mieux contraindre les mécanismes à l'échelle moléculaire
- Intégrer les nouvelles techniques en modélisation moléculaire: intelligence augmentée, machine learning, construction de potentiels interatomiques, échantillonnage accéléré, prédiction de propriétés; avancées récentes en matière de théorie de la nucléation cristalline :voies non classiques, clusters de prénucléation)
- Obtenir des temps de simulation plus longs en modélisation moléculaire tout en conservant un niveau de théorie élevé comme l'accélération de dynamique moléculaire *ab initio* grâce au machine learning, ou les approches semi-empiriques réactives à moindre coût computationnel (DFT tight-binding, champs de force réactifs)

## **Comment prendre en compte la complexité (hétérogénéité, temporalités) des SIC dans les modèles ?**

### Objectifs

- Investiguer les rétroactions climat-végétation dans les ESMs
- Investiguer le compartiment alluvial dans les systèmes d'observations et les modèles

- Relier organisation spatiale des paysage et des sols au devenir des MO et à séquestration du C
- Reconstituer les trajectoires et calculer les temps de réponses des écosystèmes sous pressions climatiques et anthropiques.
- Mieux renseigner la connectivité entre différents régions du monde (dont celles qui sont peu étudiées, i.e. cryosphère, hautes latitudes, zone intertropicale)

#### Actions

- Discriminer dynamique linéaires vs. non-linéaires, points de bascule, processus quantifiables
- Généraliser les analyses de sensibilité
- Explorer des solutions possibles au calage d'un modèle (*deep learning*, optimisation dans un cadre statistique)
- Évaluer et réduire l'incertitude sur les paramètres et l'incertitude sur les prédictions fournies par les modèles (« *data worth analysis* »)
- Exploiter les big data temporelles requises pour étudier les héritages, et la résilience voire les points de bascule de certains compartiments
- Développer la modélisation de la zone critique couplant transport-réactif et processus érosifs
- Intégrer les dynamiques sociales dans l'analyse des évolutions futures (cf Zones Ateliers)
- Intégrer des données dérivées d'imagerie satellitaires à haute résolution spatiale
- Définir les paramètres à cibler pour les approches et comparaisons modèles-données
- Améliorer la couverture géographique renseignée par les données (zones intertropicales et polaires)

### 3/ Aspects transverses :

- Développer des sources de financement réellement ouvertes aux recherches transdisciplinaires (ANR)
- Observatoires: 1) développer les rétro-observatoires; 2) renforcer la collaboration avec les OHM *via* des appel d'offres incitatifs
- Créer un outil de gouvernance intégrée sur le continuum Homme-Terre-Mer
- Renforcer le soutien logistique aux sites d'étude peu couverts à moyen et long terme (observatoire zones intertropicale et polaire)
- Modèles: promouvoir le dialogue entre modélisateurs, mais aussi entre modélisateurs « SIC » et modélisateurs en physique, chimie, biologie
- Développer les espaces d'échanges entre communautés modèles / données (école d'été ? cf prospectives SIC 2018-22)
- Gestion des données: mise en place d'une coordination nationale permettant de fluidifier les échanges de données entre les organismes (CNRS, IRD, CIRAD, INRAe), les laboratoires, les IR (i.e. REGEF) et l'interopérabilité de ces données (état des lieux sur THEIA , Gaia Data, Data Terra...) + politique de stockage et de mise à disposition
- Gestion des échantillons: simplifier les connexions entre les banques internationales d'enregistrement des échantillons géologiques et la cyber-carothèque nationale
- RH/Métier : Développer des compétences autour des big data et de l'IA; Être attractif pour les étudiants d'autres disciplines.

### 4/ Éléments éventuels pour alimenter le bilan des dernières prospectives :

Les objectifs listés ont souvent déjà été évoqués dans les dernières prospectives. Dans ces prospectives, nous proposons d'identifier des actions permettant de les atteindre.