

Thèmes pour appel à contribution des prospectives SIC

Thème 1 - "Observations"

Thème 2 - "Les Surfaces et Interfaces Continentales (SIC) et son programme national (EC2CO) dans un paysage en constante évolution"

Thème 3 - "Positionnement stratégique de la communauté SIC"

Thème 4 - "Continuum Sciences-Sociétés : transdisciplinarité, co-construction de la recherche autour d'enjeux d'habitabilité du territoire"

Thème 5 - "Des outils aux données et aux connaissances"

Thème 6 - "La Zone Critique urbaine et péri-urbaine"

Thème 7 - "Intégration des processus évolutifs courts (bactéries) et longs (macro organismes - communautés) sur le fonctionnement des écosystèmes et leurs trajectoires"

Thème 8 - "Rôle des organismes vivants et de la redondance fonctionnelle dans la résilience des écosystèmes - Apport des nouvelles approches omiques, de leurs combinaisons, et de l'ADN environnemental"

Thème 9 - "Temps de réponses caractéristiques et trajectoires des écosystèmes sous pressions climatiques et anthropiques"

Thème 10 - "Quantification du rôle de la structure spatiale sur le fonctionnement des écosystèmes : du biofilm aux paysages et bassins versants"

Thème 11 - "Les contaminants de la Zone Critique"

Thème 12 - "Le continuum Homme/Terre/Mer"

Thème 13 - "Le continuum biotique/abiotique"

Thème 14 - "Dynamiques des flux de matières dans et entre les compartiments de la Zone Critique aux différentes échelles d'espaces et de temps - des processus élémentaires aux conséquences régionales"

Thème 15 - "L'éco-hydrologie"

Thème 16 - "Les SIC dans leurs interfaces avec l'atmosphère"

Thème 17 - "Les SIC dans leurs interfaces avec la Terre interne"

Thème 18 - "L'écotoxicologie microbienne pour répondre aux enjeux émergents de la qualité des SIC".

Thème 19 - "Les échelles de temps dans les SIC"

Thème 20 - "L'interdisciplinarité dans les SIC et à ses interfaces"

Thème 21 - "Energie et transition énergétique dans les SIC"

Thème 22 - "Autre thème ?"

Thème 1 - "Observations"

Nos réflexions prospectives s'inscrivent dans le cadre de la feuille de route nationale des infrastructures de recherche du MESRI (1) et de de la feuille de route européenne du forum ESFRI sur les enjeux de recherche en sciences du Système Terre et Environnement (2). En novembre 2022, la Mission pour les initiatives Transverses et Interdisciplinaires du CNRS a organisé le colloque « Observation du Système Terre : les enjeux de l'observation des milieux naturels et anthropisés » (3). En parallèle, eLTER-France, regroupant les deux Infrastructures de Recherche au cœur des Surfaces et Interfaces Continentales (SIC), OZCAR et RZA, a organisé deux journées de réflexion prospective sur l'ancrage français dans l'Infrastructure Européenne eLTER. Enfin, la Commission Observation de la CS-SIC a commencé un travail de prospective en 2022 dont les résultats pourront être présentés en détails lors de cet atelier.

C'est dans ce contexte national et européen et forts des retours de ces échanges qui ont mobilisé une grande majorité de la communauté SIC que nous engageons à présent ces réflexions prospectives. Cet atelier collectif vise à :

- Établir un état des lieux de l'observation dans le domaine SIC, en nous concentrant notamment sur ses forces, ses faiblesses et ses manques ;
- Questionner la gestion et l'évolution des ressources humaines et la façon de rendre les carrières encore plus attractives et enrichissantes ;
- Réfléchir à la manière de mieux organiser nos outils et infrastructures nationaux pour répondre aux questions scientifiques abordées par la communauté SIC et aux défis sociétaux auxquels elles se rattachent.

(1) <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/sites/default/files/2022-03/feuille-de-route-nationale-des-infrastructures-de-recherche---2021-v2--17318.pdf>

(2) S. Mahé, C. Marlin et al. (2020) Livre Blanc sur les infrastructures françaises de recherche du domaine des sciences du système Terre et de l'environnement - Vision stratégique d'AllEnvi 2020-2030. Paris, France : AllEnvi, 116 p.

(3) <https://www.insb.cnrs.fr/fr/evenement/colloque-observation-du-systeme-terre-les-enjeux-de-lobservation-des-milieux-naturels-et>

Thème 2 - "Les Surfaces et Interfaces Continentales (SIC) et son programme national (EC2CO) dans un paysage en constante évolution"

Le programme EC2CO permet depuis deux décennies de structurer le paysage national des équipes travaillant sur ces surfaces et interfaces, quel que soit leur organisme de rattachement. Il a en particulier permis le développement de recherches innovantes et pluridisciplinaires en incitant ces équipes à interagir de manière constructive et en suscitant l'adhésion de la communauté SIC. Cet effet structurant et les financements incitateurs associés ont permis de formuler et de tester des hypothèses et de favoriser par effet "levier" l'émergence de projets plus ambitieux qui ont pu bénéficier par la suite de financements au travers d'autres appels à projets (ERC, ANR, Labex, CNRS-Miti, OFB, Région, etc.).

L'apparition récente de Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche (PEPR), de Programmes Prioritaires de Recherche (PPR), et plus généralement d'autres

sources de financements sur des thématiques fortement liées aux SIC, a significativement modifié le paysage de la recherche SIC.

Ce thème vise donc à *envisager des pistes et synergies possible pour poursuivre et faire évoluer le programme EC2CO* en réponse à ces « forçages », tout en intégrant l'attachement de la communauté SIC à cette action programmatique plurielle, offrant un "tremplin" unique pour nombre de projets innovants et structurants.

Un autre objectif sera *d'évaluer la pertinence, la nécessité d'évolution ou le besoin de compléter les actuelles actions thématiques* du programme (cf. <https://programmes.insu.cnrs.fr/ec2co/hybig/>, <http://programmes.insu.cnrs.fr/ec2co/dycovi/>, <http://programmes.insu.cnrs.fr/ec2co/microbiome/>)

Thème 3 - "Positionnement stratégique de la communauté SIC"

Ce thème ambitionne de préciser le positionnement stratégique de la communauté SIC au sein du CNRS, que ce soit vis-à-vis des autres domaines de l'INSU, de l'INEE ou des autres instituts du CNRS, mais aussi plus largement au travers des interactions entre partenaires de recherche aux niveaux national, européen et international, et aux Suds.

La communauté SIC bénéficie d'un positionnement dans l'INSU et l'INEE qui lui confère un rôle central et visionnaire sur les enjeux environnementaux. Les recherches menées par la communauté SIC recourent les problématiques liées aux effets des changements globaux et de façon générale aux perturbations anthropiques sur notre environnement. Étudier les effets de ces perturbations en les observant et les quantifiant, déterminer et quantifier les paramètres et processus bio-physico-chimiques qui contrôlent ces effets constituent un socle de connaissances essentiel à la modélisation spatio-temporelle des trajectoires des milieux. Cette compréhension globale doit permettre d'anticiper les perturbations et d'élaborer et d'explorer, notamment grâce à la modélisation, des solutions et des trajectoires de remédiation ou d'adaptation dans le temps et l'espace. Cela constitue une mission majeure pour notre communauté.

Il s'agira ainsi d'évaluer en particulier comment nous pouvons collectivement, et en interaction avec notre environnement institutionnel, répondre plus efficacement aux enjeux sociétaux auxquels cette communauté est confrontée, tout en préservant la recherche fondamentale SIC.

Thème 4 - "Continuum Sciences-Sociétés : transdisciplinarité, co-construction de la recherche autour d'enjeux d'habitabilité du territoire"

Le changement climatique, la pollution des eaux et des sols, la perte de biodiversité, et les inégalités croissantes affectent le fonctionnement des socio-écosystèmes et menacent l'habitabilité de la Terre (1). Les perturbations rencontrées sont exacerbées par les inégalités croissantes, les crises sanitaires et les tensions géopolitiques. Les changements biogéophysiques et l'instabilité sociale et politique générale sont des problèmes systémiques, complexes et interdépendants qui suscitent une attention croissante des populations et des gestionnaires. Pour y répondre et les anticiper, les territoires doivent adapter des stratégies et des moyens de prévention innovants par des politiques publiques nationales et communautaires visant à assurer, sur le long terme, l'habitabilité des territoires par les vivants

et le fonctionnement des écosystèmes. Comprendre, suivre et limiter l'impact des perturbations anthropiques sur les écosystèmes et les sociétés imposent ainsi une approche transdisciplinaire, dans laquelle les solutions se construisent autour d'enjeux et entre la science et les acteurs de la société.

Pour cela, il s'agit de créer et de renforcer le corpus de connaissances sur l'habitabilité, ses relations avec le fonctionnement et l'évolution des socio-écosystèmes, et l'impact des changements environnementaux et sociétaux sur ces relations. La communauté SIC, riche de ses observatoires de monitoring des dynamiques long-terme des Zones Critiques, de ces infrastructures d'expérimentation ou de modélisation, dispose, en ancrant les savoirs obtenus dans des collaborations interdisciplinaires avec les Sciences Humaines et Sociales, d'outils puissants de surveillance de l'habitabilité de la Terre. Ce thème vise ainsi à positionner les contributions de la communauté SIC vers des nouveaux projets de territoire sobre, en intégrant les enjeux de résilience/résistance, les limites planétaires et les conditions d'habitabilité des territoires dans un contexte de transformation écologique. Il s'agit également d'intégrer le rôle de l'action publique et individuelle pour aller vers une transformation majeure, systémique et rapide de l'évolution des socio-écosystèmes, pour les conduire sur des trajectoires durables.

Les réflexions autour de ce thème peuvent concerner :

- Les co-constructions d'actions de recherche sur les conditions physiques et sociales de l'habitabilité de nos territoires, en particulier pour mieux mesurer et prédire les conséquences des dérèglements climatiques et écologiques sur les territoires et leurs interactions, en anticipant une transformation économique, sociale et politique (à hauts risques) ;
- Les développements d'approches de co-construction transdisciplinaire et de savoirs sur le fonctionnement des systèmes socio-environnementaux, situés entre les scientifiques et la société, et comment les rendre plus accessibles pour les citoyens et des décideurs et donc plus opérationnelle ;
- Les propositions de remédiation/restauration des milieux de vie, assorties de projections durables de trajectoires d'habitabilité, en lien avec les choix de politiques publiques.

(1) L'habitabilité peut être ici définie comme l'adéquation et la valeur d'un habitat pour ses habitants au sens large dans un environnement spécifique au fil du temps. Cette notion appréhende ainsi la combinaison des dimensions biogéophysiques, économiques, sociales, politiques, juridiques et de gouvernance soutenant la qualité des systèmes sociaux et écologiques pour les vivants dans le temps et l'espace

Thème 5 - "Des outils aux données et aux connaissances"

La diversité des objets d'études abordés par l'ensemble de la communauté SIC impose le développement et la mise en œuvre de techniques, d'outils et de méthodologies multiples et très variées. Certaines observations ou mesures sont effectuées sur des échantillons ou *in situ*, dans des systèmes environnementaux, qui ne peuvent être facilement reproduits (e.g., mesures effectuées pendant une crue ou sur un échantillon naturel unique). Nos questionnements scientifiques aux interfaces de nombreuses disciplines nécessitent des mesures multimodales et multi-échelles, des prélèvements et des observations *in situ* et au laboratoire de plus en plus conséquentes en volume (e.g., via les techniques d'imagerie ou d'acquisition haute fréquence). Ces mesures, au-delà du coût humain et technique qu'elles

impliquent, doivent à présent prendre en considération le coût environnemental de leur traitement. Il apparaît donc nécessaire de questionner nos outils, nos méthodes d'analyses, et également la gestion et la diffusion des données issues de ces techniques de mesure.

Cette réflexion doit logiquement intégrer les évolutions technologiques en cours (low tech, low cost, multiplication des vecteurs type drone, technique d'imagerie, IA, etc.), mais également le changement du contexte, avec, d'une part, la structuration d'une partie de nos moyens analytiques au travers des IR, ou l'existence de projets Equipex+ tel que Terra Forma, ou encore de l'organisation de la science ouverte, avec des règles de plus en plus contraignantes, et des structures comme Data Terra, ou THEIA.

Des contributions concernant les outils, la donnée, en incluant leur traitement et la modélisation, les besoins en équipements, en technologies, en instruments et les moyens humains associés et des compétences sont donc attendues. Les freins et les difficultés concernant ce thème peuvent également servir de sources de réflexion pour ce thème.

Thème 6 - "La Zone Critique urbaine et péri-urbaine"

Le thème « Zone Critique urbaine et péri-urbaine » s'inscrit dans la suite des perspectives SIC précédentes et des perspectives transverses de l'INSU (2020) qui ont identifié le milieu urbain comme un « défi aux interfaces ». Face aux enjeux sociétaux et environnementaux (usage et imperméabilisation des sols urbains, gestion des ressources en eau (potable, pluviales, usées), pollution (air, eau, sol), santé, transition écologique, etc.) liés à l'urbanisation croissante et à l'urgence de l'adaptation des villes aux changements globaux, la compréhension par l'observation, la quantification et la modélisation des dynamiques d'échanges (énergie, eau, polluants, etc.) entre les différents compartiments (sol-surface-végétation-atmosphère) de la Zone Critique urbaine et péri-urbaine, des processus hydro-bio-géochimiques en milieu anthropisé et leurs empreintes, reste un défi scientifique majeur. La question des risques spécifiques à la zone urbaine devra être adressée, notamment mais pas exclusivement dans le contexte des événements extrêmes frappant ces milieux urbains *sensu lato* en proie au changement global, comme les inondations, les vagues de chaleur sèches ou humides, les glissements de terrain, etc. Les interactions entre la zone urbaine et les espaces péri-urbains et ruraux adjacents doivent être renforcées. En effet, face à l'artificialisation des sols urbains, leur perte de qualité et leur incapacité croissante à générer les services écosystémiques nécessaires à l'humain, il s'agit de reconnecter ces zones. C'est également vrai dans le domaine des ressources (eau, énergie, minéraux, etc.) et de l'air, car l'empreinte urbaine dépasse largement sa limite géographique.

Ce thème vise ainsi à identifier les verrous scientifiques et/ou méthodologiques, par essence pluridisciplinaires, qu'il s'agira de lever dans les prochaines années pour accéder à une meilleure compréhension du fonctionnement de la Zone Critique urbaine et péri-urbaine. Il s'agira donc d'intégrer, en plus de l'INSU-SIC et de l'INEE, les recherches de l'INSU-OA et -TS, de l'INSHS, de l'INSIS, et tous les partenaires tels que l'INRAE et l'RD.

Thème 7 - "Intégration des processus évolutifs courts (bactéries) et longs (macro organismes - communautés) sur le fonctionnement des écosystèmes et leurs trajectoires"

Les conséquences de l'intensité et des variations des pressions environnementales (climatiques et anthropiques) sur les socio-écosystèmes sont d'ores et déjà bien documentées dans les suivis à long termes mis en place par nos communautés scientifiques. Elles affectent aussi bien la structure des communautés biologiques (macro et micro-organismes) que leurs interactions mutuelles et avec le milieu physico-chimique. De nouveaux outils génomiques sont maintenant disponibles pour quantifier l'évolution de ces communautés, et plus particulièrement celle des communautés microbiennes, acteurs majeurs des principaux cycles biogéochimiques, en évolution constante sous ces pressions multiples.

L'ambition de ce thème est donc de répondre notamment aux questions suivantes :

- Comment intégrer ces nouvelles approches dans nos travaux de recherches ?
- Comment cette intégration va modifier nos capacités à prédire les conséquences de ces changements environnementaux sur le fonctionnement des écosystèmes ?

Thème 8 - "Rôle des organismes vivants et de la redondance fonctionnelle dans la résilience des écosystèmes - Apport des nouvelles approches omiques, de leurs combinaisons, et de l'ADN environnemental"

La redondance fonctionnelle est un concept bien établi et documenté dans la communauté des écologistes qui permet d'expliquer les capacités de résilience des écosystèmes face aux changements environnementaux. De nouvelles approches (ADN environnemental, métabolomique, protéomique, etc.) permettent aujourd'hui de déterminer quelles sont les espèces présentes, et dans quel état physiologique.

Ce thème vise notamment à évaluer comment ces approches omiques, et leurs combinaisons multi-omiques, peuvent contribuer à quantifier le rôle des structures des communautés, y compris celles qui ne s'expriment pas (dormance par exemple) dans le fonctionnement des écosystèmes et leur résilience.

Thème 9 - "Temps de réponses caractéristiques et trajectoires des écosystèmes sous pressions climatiques et anthropiques"

Les écosystèmes sont des systèmes complexes qui réagissent aux contraintes et forçages selon des trajectoires et des temporalités difficilement prédictibles (stochasticité, interactions entre sous-systèmes non mesurées, auto-organisation, points de bascule, etc.). Pourtant, l'appréhension de ces temps de réponses et des trajectoires est nécessaire tant du point de vue de la compréhension du fonctionnement des écosystèmes que du point de vue appliqué pour envisager les scénarios de changements sous contraintes.

Ce thème vise notamment à évaluer comment les systèmes d'observations existants, les nouveaux capteurs *in situ* ou embarqués, les approches analogiques et numériques, peuvent contribuer à mieux contraindre les incertitudes associées à la quantification des interactions entre les organismes et avec leur milieu, à travers les grands cycles

biogéochimiques, pour mieux prédire les temps de réponses caractéristiques et les trajectoires des écosystèmes sous pressions.

Thème 10 - "Quantification du rôle de la structure spatiale sur le fonctionnement des écosystèmes : du biofilm aux paysages et bassins versants"

Comment la variabilité spatiale et temporelle change avec l'échelle de perception est l'un des problèmes fondamentaux de l'écologie, de la biogéochimie et de l'hydrologie des bassins versants. Étant donné que la plupart des modèles écologiques changent avec l'étendue spatio-temporelle et le grain d'observation, une compréhension de la structure de la variance est nécessaire pour mettre à l'échelle les prévisions ou mettre en œuvre des interventions efficaces dans des paysages dynamiques. Les nouveaux capteurs en temps réels, qu'ils soient distribués *in situ*, aéroportés ou spatiaux, permettent aujourd'hui d'aborder une large gamme d'échelles spatiales et temporelles du biofilm au paysage.

Ce thème vise donc à évaluer comment utiliser ces nouveaux capteurs en temps réel, par exemple, pour quantifier l'importance de la structure spatiale sur les échanges (flux) aux différents niveaux d'organisation des systèmes ou pour comprendre les conséquences de perturbations à une échelle donnée sur les niveaux d'organisations adjacents.

Thème 11 - "Les contaminants de la Zone Critique"

Les activités humaines (industrielles, urbaines, agricultures, etc.) impactent durablement les différents compartiments de la Zone Critique (eau, sol, atmosphère), leurs interfaces ainsi que la spéciation et la transformation des contaminants. La préservation durable des ressources et des processus critiques à la vie est un enjeu sociétal, scientifique et technique majeur des prochaines décennies dans un contexte de transformation écologique et énergétique. Le cycle des contaminants dans la Zone Critique résulte d'actions et de rétroactions complexes le long du continuum biotique-abiotique, incluant les organismes, la matière organique et les minéraux, et leurs interactions. La compréhension des mécanismes biotiques et abiotiques impliqués dans l'écodynamique et l'écotoxicité des contaminants naturels ou anthropiques, ou encore la dégradation des matériaux au cours de leur cycle de vie, s'avère nécessaire pour la préservation des écosystèmes et la remédiation des milieux contaminés. En particulier, la prise en compte des mécanismes à l'échelle moléculaire a permis de minimiser la perte d'information lors des changements d'échelles spatiales ou temporelles.

Ce thème vise ainsi à définir les enjeux à la fois scientifiques et techniques, en particulier concernant l'exposition et les effets des contaminants sur le long-terme à des doses chroniques faibles ou non détectables, les risques associées aux multi-stress (e.g., effets cocktails, changement climatique, antibiorésistance, etc.), l'accumulation et la dégradation de polluants émergeant et leur produits de transformation, le transfert des contaminants entre les différents compartiments de la Zone Critique, les transferts trophiques, transgénérationnels ou au sein de l'holobionte, ou encore une meilleure prise en compte de la dynamique des processus au niveau expérimental et théorique.

Thème 12 - "Le continuum Homme/Terre/Mer"

Dans un contexte de changement environnemental d'une rapidité inédite, le milieu littoral (et au-delà), point verrou du continuum Homme-Terre-Mer, est particulièrement vulnérable (risque de submersion, érosion, hypoxies, crues, pollutions, vagues de chaleur, etc.). Or, la compréhension des causes de ces phénomènes et leur évolution nécessitent des approches méthodologiques originales à différentes échelles spatiales et pluridisciplinaires.

Nous chercherons ainsi à interroger la communauté sur la manière de mieux prendre en compte les points de bascule ("tipping points") et les événements extrêmes dans les modèles de fonctionnement des bassins versants et des écosystèmes côtiers et littoraux.

Thème 13 - "Le continuum biotique/abiotique"

Les interactions entre les compartiments biotiques et abiotiques sont indissociables de l'étude des surfaces et interfaces continentales. Les multiples déclinaisons autour de ce thème se rattachent naturellement aux grands enjeux liés aux transitions et aux changements globaux comme les couplages entre climat et fonctionnement des écosystèmes et les points de bascule, le rôle du vivant dans les grands cycles biogéochimiques, l'écotoxicologie et dynamique des xénobiotiques, l'interdépendances entre sociétés humaines et environnement dans un contexte de transition écologique.

Quelles que soient les échelles de temps ou d'espace qui sont privilégiées, ces questions nécessitent toujours le regard croisé des géosciences, des sciences du vivant, et des sciences humaines et sociales. Sans cette prise en compte croisée, les processus interactifs ne pourraient être traités de manière satisfaisante afin d'intégrer les couplages forts entre sous-sol, sol, eau, atmosphère, micro-organismes, organismes terrestres, aquatiques, holobiontes, etc.

Ce thème vise ainsi à dégager les grandes lignes programmatiques pour lesquelles les processus couplés biotique-abiotique mériteraient d'être mieux observés, mieux caractérisés, mieux compris et enfin mieux représentés dans les modèles de trajectoires spatio-temporelles des milieux.

Thème 14 - "Dynamiques des flux de matières dans et entre les compartiments de la Zone Critique aux différentes échelles d'espaces et de temps - des processus élémentaires aux conséquences régionales"

La quantification des flux de matière et la compréhension de leur évolution nécessitent une approche spatiale et temporelle multi-échelles. Les phénomènes aux interfaces sont souvent la clé de la compréhension de l'évolution des réservoirs, en particulier dans la Zone Critique.

Il s'agit ici d'interroger la communauté sur les verrous conceptuels et méthodologiques qui doivent être levés pour atteindre un compromis acceptable entre la fréquence d'acquisition de données, coûts humains, financiers et environnementaux pour permettre une quantification de qualité des flux de matière aux interfaces comme socle de compréhension de l'évolution des stocks passés, présent et futurs.

Thème 15 - "L'éco-hydrologie"

L'éco-hydrologie traite les interactions dynamiques entre les écosystèmes terrestres et le cycle de l'eau, à l'interface entre les organismes et leur milieu physico-chimique. D'un côté, plus de 60 % des précipitations retournent à l'atmosphère par évapotranspiration en domaine continental, hissant *de facto* la transpiration des plantes comme un processus majeur du cycle de l'eau. De l'autre, la disponibilité quantitative et qualitative de l'eau est au cœur du développement et de la pérennité des écosystèmes. Le contexte actuel de changement climatique met en évidence l'aspect dynamique de ses interactions et le besoin de mieux les comprendre.

A travers ce thème fondamentalement interdisciplinaire à l'interface des sciences de la Terre (hydrologie, hydrogéologie, pédologie et climatologie) et des sciences du vivant (écophysiologie, écologie, biologie végétale), nous souhaitons identifier collectivement les verrous scientifiques à faire sauter en priorité, à l'horizon de ces perspectives, et les moyens d'y parvenir.

Thème 16 - "Les SIC dans leurs interfaces avec l'atmosphère"

Les interfaces entre les surfaces continentales et l'atmosphère sont des zones majeures d'échanges d'énergie et de matière contrôlés par des processus spécifiques au sein du continuum-sol-eau-plante-atmosphère. Une meilleure compréhension et quantification des interactions et rétroactions entre les surfaces, incluant la dynamique des écosystèmes, et l'atmosphère à différentes échelles de temps et d'espace sont indispensables pour améliorer les modèles régionaux et globaux (biogéochimiques ou climatiques) et donc mieux prédire et anticiper les évolutions des surfaces continentales sous l'effets des changements globaux. Une approche multidisciplinaire semble indispensable pour obtenir des avancées substantielles dans l'étude de des interfaces entre surfaces continentales et atmosphère.

Ce thème vise ainsi à aborder les questions suivantes :

- Comment mettre en œuvre les collaborations nécessaires à l'étude de ces interfaces ?
- Quelles zones géographiques, quels écosystèmes, et quels usages doivent être prioritairement renseignés et étudiés ?
- Quelles sont les espèces biogéochimiques dont les flux (émission et/ou dépôt) restent les moins bien contraints ?
- Sur quels modèles conceptuels et numériques doivent prioritairement porter les efforts de couplages ?

Thème 17 - "Les SIC dans leurs interfaces avec la Terre interne"

L'interface entre les surfaces et interfaces continentales et leur substrat « Terre solide » est souvent difficile à appréhender précisément. Les transferts et flux de matière et d'énergie majeurs à cette interface, mais également le couplage de processus opérant avec des temps caractéristiques très contrastés, amplifient cette difficulté. Ces transferts peuvent également influencer de manière significative le fonctionnement des écosystèmes en créant localement des conditions « extrêmes » (e.g., hotspots de biodiversité associés au fonctionnement des

systèmes hydrothermaux). De la même manière, la pression croissante exercée par l'activité humaine, par exemple par l'utilisation de la ressource en eau ou l'activité extractive (continentale ou des océans profonds) ou les changements globaux d'origine anthropique, modifie ces flux de matière et d'énergie et le fonctionnement de ces hydro-bio-géo-systèmes sur une courte échelle de temps. Les conséquences des changements globaux et les risques environnementaux associés nécessitent une vision intégrée des processus d'érosion, des flux et des bilans de matière, indispensable pour appréhender ces changements sur ces systèmes sur le long terme.

Ce thème vise ainsi à évaluer comment il serait possible d'accroître les interactions entre communautés et disciplines pour mieux appréhender le fonctionnement de ces systèmes dans leur globalité. Dans cette optique, il sera indispensable d'identifier les contextes les plus affectés et les verrous limitant notre compréhension de ce fonctionnement.

Thème 18 - "L'écotoxicologie microbienne pour répondre aux enjeux émergents de la qualité des SIC".

La pression croissante exercée par les changements globaux d'origine anthropique sur les surfaces et interfaces continentales est fortement liée aux émissions de polluants et à leurs interactions complexes dans les écosystèmes, aujourd'hui largement contaminés. L'émergence de « nouveaux » contaminants fait surgir des risques inédits sur le fonctionnement des milieux dont l'étude nécessite des approches et concepts plus intégrés (e.g., prise en compte des pollutions éternelles et/ou mixtes, effet sur les interactions et fonctions écologiques, influence des stress multiples, inductions de résistances, etc.).

La compréhension de l'écotoxicité des contaminants, des effets cascades engendrés et de la résilience de nos écosystèmes ainsi que le développement ou l'amélioration des actions de limitation du risque et des impacts écologiques et sanitaires, tenant compte de la santé environnementale, passent par de nouvelles stratégies holistiques et transdisciplinaires intégrant notamment les concepts d'exposome, de One Health, de méta-écosystème et d'ingénierie écologique.

Le rôle des microorganismes, interfaces entre le biotique et l'abiotique, est central tant au niveau de la biogéochimie de la Zone Critique que de l'interdépendance entre les santés humaine, animale et environnementale. Ces nouveaux concepts et ces nouvelles problématiques nous obligent à revoir à la fois, les outils d'analyses et les proxys d'impact sur notre environnement, intégrant notamment les effets du changement global et l'interprétation des réponses des écosystèmes contaminés.

Ce thème ambitionne ainsi de répondre notamment aux questions suivantes :

- Quels sont les verrous à lever pour développer l'étude des réponses des écosystèmes contaminés, notamment en s'appuyant sur l'écotoxicologie microbienne ?
- Quels nouveaux paradigmes doivent être développés pour mieux comprendre les réponses des écosystèmes aux perturbations, notamment en prenant mieux en compte le rôle central des microorganismes et leur potentiel de bio-indication et de diagnostic des impacts, de mitigation des altérations et de remédiation des milieux ?

Thème 19 - "Les échelles de temps dans les SIC"

Les SIC résultent de processus hydro-bio-géochimiques, géomorphologique et sismologiques qui s'emboîtent sur des échelles de temps très variables (de la seconde à la dizaine de millions d'années). Pour hiérarchiser les paramètres naturels et/ou anthropiques responsables de ces processus, pour renseigner l'état actuel des SIC et leur réactivité, une profondeur temporelle est donc nécessaire. La connaissance des processus actuels en jeu dans l'évolution des SIC aide à l'interprétation des enregistrements paléo-environnementaux quantitatifs nécessaires aux comparaisons modèles-données et à l'amélioration des modèles de système Terre.

Ce thème abordera notamment les questions suivantes :

- Quelles sont les approches conceptuelles, méthodologiques ou analytiques, et les chantiers à développer dans les prochaines années pour pouvoir mettre en regard le fonctionnement actuel des SIC et sa variation au cours du temps ?
- Quels sont les nouveaux chronomètres pertinents pour permettre une meilleure compréhension des processus affectant la surface terrestre ?
- Dans l'analyse des échelles de temps dans les SIC, comment mieux identifier et évaluer les 'hot moments' caractérisant les temps activant particulièrement la réactivité biogéochimique ?

Thème 20 - "L'interdisciplinarité dans les SIC et à ses interfaces"

Depuis sa création, en 2002, le domaine SIC avait intégré les enjeux de l'interdisciplinarité et la communauté s'est résolument engagée dans une démarche productrice de savoirs nouveaux dont le but est de mieux quantifier les changements globaux.

Lors de ces prospectives, l'accent sera placé sur la prise en compte de nouveaux outils d'investigation pour lever les verrous scientifiques nécessaires à la compréhension, la modélisation et l'anticipation des changements environnementaux à venir :

- Quels nouveaux outils (e.g., intelligence artificielle, OMICS, résolution toujours plus grande des analyses satellitaires, etc.) doivent être considérés ?
- Dans une démarche intégrative des risques et de notre responsabilité environnementale dans nos travaux, comment augmenter la coopération entre disciplines, organismes et parties prenantes pour éclairer les décisions politiques et répondre aux enjeux sociétaux liés aux changements environnementaux ?

Thème 21 - "Energie et transition énergétique dans les SIC"

Les questions relatives aux énergies dans les SIC sont multiples. D'une part les SIC sont intrinsèquement des lieux de couplages énergétiques très variés, notamment au sein du fonctionnement des écosystèmes ou dans le couplage biotique-abiotique (sources ou puits d'énergie). D'autre part, les SIC représentent le lieu privilégié dans le déploiement des énergies renouvelables à large échelle (éolienne sur terre ou dans les parcs marins, agri-voltaïque, micro centrales hydrauliques, etc.).

Ce thème vise notamment à aborder les questions suivantes :

- Comment mieux décrire les bilans de flux énergétiques aux différentes échelles et leurs évolutions dans un contexte de changement global ?
- Comment mieux appréhender les impacts anthropiques (pollutions, modification des écosystèmes) de ces nouvelles technologies ?
- Comment mieux évaluer l'empreinte écologique globale des nouvelles énergies (e.g., extraction de métaux rares tels que le lithium et les Terres Rares) depuis l'extraction des matières premières jusqu'au recyclage des assemblages complexes que sont les batteries, les panneaux solaires, les éoliennes, etc. ?
- Quelles sont les verrous et les options pour le développement de méthodes d'extraction plus vertueuses et durables ne menaçant pas l'habitabilité de la planète, et intégrant l'économie circulaire, notamment par la récupération et le recyclage de ces métaux critiques (e.g., par des méthodes douces : 'gisements secondaires' bio ou géosourcés) ?

22 - "Autre thème ?"

Il s'agit ici de donner l'opportunité à la communauté SIC de proposer des nouveaux thèmes et pistes de réflexions pour ces prospectives qui ne seraient pas couvertes par les 21 thèmes précédents.