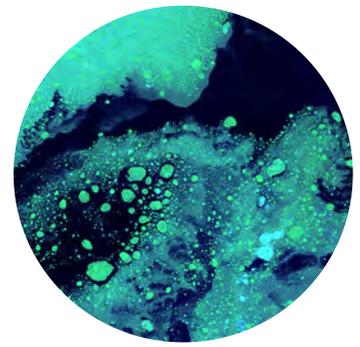




RAPPORT ANNUEL 2024

Table des MATIÈRES



LE MOT DU DIRECTEUR GÉNÉRAL DE MINES PARIS - PSL	p.5
LE MOT DE LA DIRECTRICE DE TTI.5	p.6
RAPPORT D'ACTIVITÉ	pp.7-44
1. LES OBJECTIFS	p.8
2. NOTRE ORGANISATION	p.9
2.1 Les acteurs internes	p.9
2.2 Les acteurs externes	p.11
2.3 Structuration interne de l'Institut et dynamique de collaboration prolifique	p.11
3. NOS FORMATIONS	p.14
3.1 Le parcours académique	p.14
3.2 Le parcours doctoral	p.15
3.3 Contributions scientifiques des doctorants du parcours	p.18
3.4 Création du certificat «Planète en Transition [PeTra]»	p.26
3.5 Summer School	p.27
4. RÉTROSPECTIVE DE L'ANNÉE	p.28
4.1 Agenda de l'année 2024	p.29
4.2 Retour sur le 2 nd Forum TTI.5 : « Regards africains sur les changements climatiques »	p.30
4.3 Retour sur le 2 nd Workshop TTI.5	p.38
4.4 Le podcast « Planète en transition »	p.41
4.5 Les webinaires publics TTI.5	p.44

RAPPORT SCIENTIFIQUE

pp.45-75

LE MOT DU DIRECTEUR DE LA RECHERCHE

p.46

AVANT-PROPOS

p.47

AXE 1 - LE DESIGN DE LA TRANSITION

p.48

1.1 Présentation et thématiques de l'axe

p.49

1.2 Éclairage sur la place de Mines Paris - PSL dans les politiques publiques liées à la transition écologique

p.51

1.3 Rétrospective des évènements de l'année de l'axe

p.53

AXE 2 - UNE PLANÈTE ÉLECTRIQUE ?

p.54

2.1 Présentation et thématiques de l'axe

p.55

2.2 Éclairage sur le projet de mobilité électrique

p.57

2.3 Rétrospective des évènements de l'année de l'axe

p.59

AXE 3 - LA PLANÈTE INCLUSIVE

p.60

3.1 Présentation et thématiques de l'axe

p.60

3.2 Éclairage sur les projets DestinE et Fair ZFE

p.63

3.3 Rétrospective des évènements de l'année de l'axe

p.66

AXE 4 - LA PLANÈTE COMME ENJEU D'INFLUENCE

p.67

4.1 Présentation et thématiques de l'axe

p.67

4.2 Éclairage sur le projet matériaux

p.68

4.3 Rétrospective des évènements de l'année de l'axe

p.69

AXE 5 - LA PLANÈTE VIVANTE

p.70

5.1 Présentaton et thématiques de l'axe

p.70

5.2 Éclairage sur le projet HERBE

p.72

5.3 Rétrospective des évènements de l'année de l'axe

p.72

PUBLICATIONS

p.74

Le mot du DIRECTEUR GÉNÉRAL de MINES PARIS - PSL

L'avenir s'écrit ensemble au présent

Face à un problème terrifiant ou douloureux, deux stratégies de survie cognitive et sociale se mettent en œuvre de manière réflexive : nier les symptômes, ou nier le diagnostic qui explique ces symptômes. L'actualité internationale récente nous montre toute la puissance de ces deux mécanismes de défense (*coping*).

The Transition Institute 1.5 (TTI.5) est le moyen et la méthode par laquelle Mines Paris - PSL et ses partenaires contribuent à surmonter ces deux maux. 2024 a été la deuxième année pleine de fonctionnement de l'Institut. Année de déploiement de son activité et de renforcement de son impact, tant au sein de Mines Paris - PSL et dans son écosystème qu'en contribution et soutien à la transition climatique en France, en Europe et au-delà, elle a été florissante. Avec 200 chercheurs, doctorants, étudiants et contributeurs au sein du personnel administratif – car c'est une de ses richesses que de décloisonner toutes nos communautés –, l'Institut irrigue l'ensemble des départements de recherche et des activités de formation initiale et continue de l'École, et contribue aussi à la réflexion internationale et à la médiation scientifique (à travers les activités et l'exposition itinérante « Regards Africains sur les changements climatiques » par exemple). De plus en plus important pour nos équipes, de mieux en mieux intégré dans nos activités de formation, articulé de manière croissante à l'orientation générale de notre recherche, il contribue aussi à la résilience globale de notre société et de notre économie.

Alors, que vous soyez simplement curieux de nos activités ou que vous vous demandiez comment votre entreprise ou ONG pourrait participer à notre dynamique, que vous soyez un ou une élève engagée dans le parcours TTI.5 ou une ou un auditeur du podcast « Planète en Transition », que vous vous intéressiez au certificat de formation exécutive du même nom (PeTra) ou que vous ayez plutôt le profil pour participer à notre prochaine « Summer School », la richesse des activités dont témoigne ce rapport 2024 est là pour vous montrer la panoplie de ce que nous pouvons faire ensemble – sans compter ce qui reste à imaginer avec vous.



Merci aux porteurs et contributeurs, à l'École, au sein de l'Université Paris Sciences & Lettres et chez nos partenaires, à nos mécènes via la Fondation Mines Paris, pour leur engagement au service d'une transition globale, cohérente, réaliste, solidaire et réflexive, car fondée sur la recherche telle qu'elle se fait, et qui n'oublie aucune dimension afin d'éviter tant le déni que le super-solutionnisme, facteur de maladaptation.

Bonne lecture et à bientôt !

Godefroy BEAUVALLET

Le mot de la DIRECTRICE de TTI.5

2024 aura été une année faite de bouleversements rapides dont les conséquences n'ont pas fini d'impacter les travaux de notre Institut TTI.5.

Son orientation scientifique, déclinée en 5 axes de recherche, se révèle de plus en plus pertinente pour envisager, dans un contexte mouvant, l'enchevêtrement des questions d'adaptation, d'atténuation et de biodiversité. Qu'il s'agisse des trop nombreux événements extrêmes subis par nos régions et bien au-delà, des impacts d'une réorganisation géopolitique accélérée et fluctuante, de la remise en question de la place de la science, « nous sommes contraints non seulement de nous poser des problèmes imprévus, mais encore d'inventer des méthodes originales pour les aborder » ce à quoi nous enjoignait déjà Gaston Berger dans les années 50.

Le cadre extraordinaire offert par l'Institut TTI.5 nous encourage à cette expression et confirme combien cette structure originale permet de libérer notre créativité.

Ainsi, et après 2 ans d'existence, le succès de l'Institut TTI.5 se confirme à travers ses réalisations, nombreuses, son appropriation par les élèves de tous nos cycles, les enseignants chercheurs ainsi que le personnel administratif de notre Ecole. Cet enthousiasme se manifeste par des demandes toujours plus nombreuses de labellisation de doctorants ou d'élèves ou encore par les réponses de plus en plus nombreuses à notre appel à projets de thèses ou de post-doctorats, désormais ouverts à des co-encadrements par des établissements extérieurs à PSL et à l'international.

Nous veillons attentivement à ce que notre gouvernance perpétue l'idée de transversalité, de collégialité et le caractère participatif qui a fait le succès de ce projet : cette année notre comité de pilotage, comme notre règlement interne le stipule, a été renouvelé par tiers et a continué à opérer grâce à 19 volontaires chercheurs et administratifs sur le rythme soutenu d'une réunion tous les 15 jours ; nos chercheurs référents structurés par axe nous ont accompagné dans l'animation scientifique de l'Institut, en particulier lors de notre manifestation interne, le Workshop annuel de TTI.5.

On parle désormais de l'Institut TTI.5 au-delà de notre Ecole, dans de nombreux cercles, académiques, économiques, institutionnels, désormais friants de nos manifestations récurrentes : notre Forum annuel, cette année ouvert sur la parole africaine, nos webinaires, nos notes d'éclairage, sont devenus des rendez-vous et des supports plébiscités dont la fréquentation ne cesse de croître.



S'y ajoute désormais notre nouvelle série de Podcasts, Planète en Transition, qui met en valeur nos doctorants et a rapidement conquis de nouveaux aficionados.

Notre Conseil, lieu d'échange privilégié entre mécènes, observateurs et représentants de notre Ecole, s'est réuni 2 fois et nous a permis de valider de nouvelles propositions, comme notre certificat PeTra, Planète en Transition, qui verra sa première édition en 2025.

Si le caractère unique de l'Institut se renforce, si son déploiement équilibré est assuré, si son succès n'est plus à démontrer, c'est que son équipe pilote, il faut le souligner exclusivement féminine, opère autour de sa directrice avec une efficacité redoutable. Totalement dévouée, cette équipe agit pour le collectif de notre Ecole, la valorisation et le rayonnement de ses travaux, cela depuis le lancement de TTI.5 en 2022, pour Alice Spasaro et Claire Caumel, depuis 2023 pour Sabrina Bekli et depuis 2024 pour nos deux nouvelles arrivées, Noémie Boichot et Cyrielle Gaglio. Je les remercie ici chaleureusement.

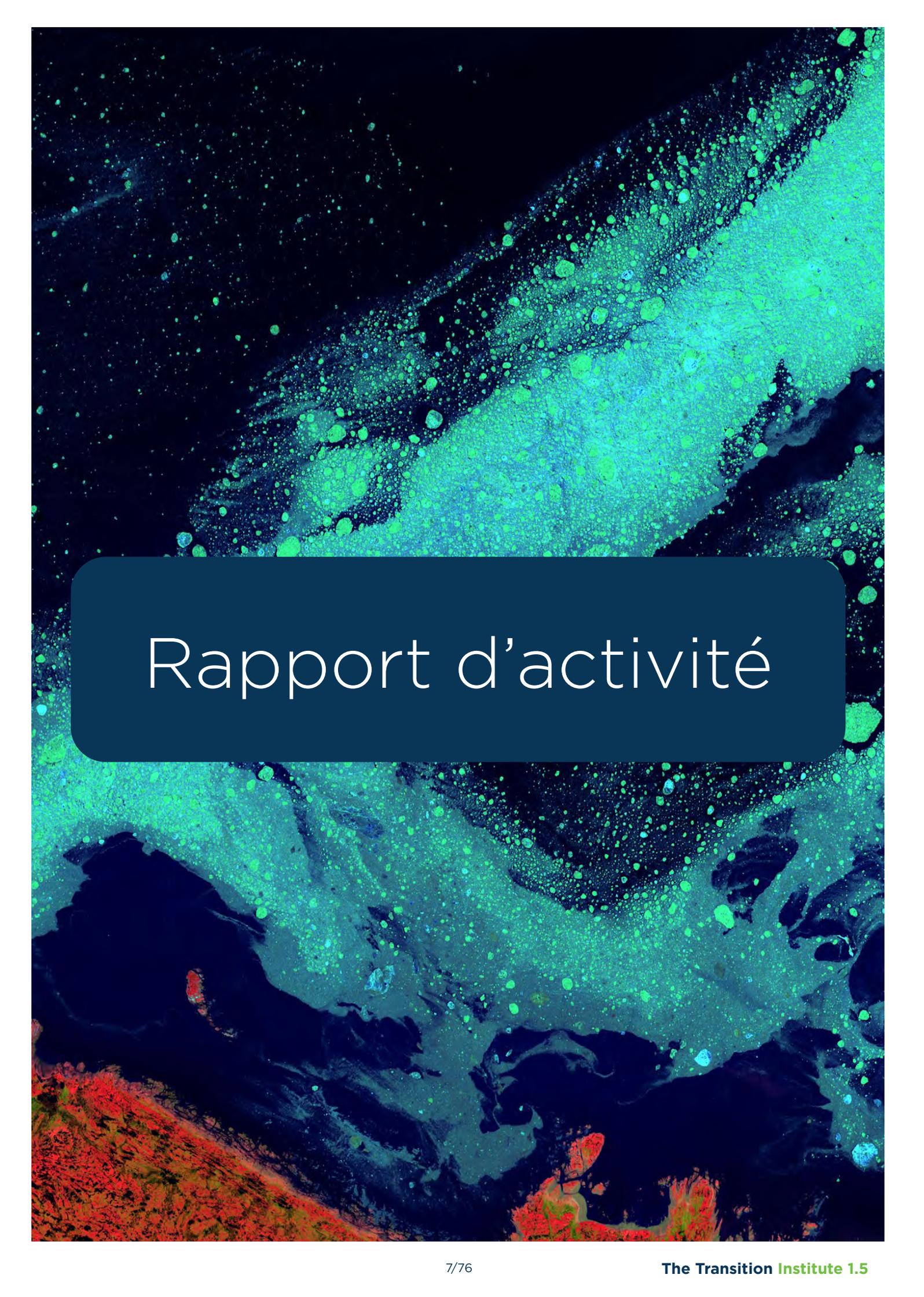
Nous avons souhaité vous restituer l'ensemble de notre récit 2024, avec une nouvelle structuration de notre rapport TTI.5.

Ainsi vous allez découvrir :

- une première partie dédiée aux activités portées directement par l'Institut, au format de rapport d'activités « classique »,
- une seconde partie qui restituera les travaux portés par l'Institut mais également par l'École et qui sera dédié aux 5 axes de TTI.5 et constituera notre rapport « scientifique ».

Je vous souhaite une très bonne lecture, et espère que vous serez attentifs aux progrès réalisés !

Nadia MAÏZI



Rapport d'activité

1. Les OBJECTIFS

Le changement climatique, et les nombreuses conséquences qui en découlent – multiplication des phénomènes météorologiques destructeurs, déplacement de population, tensions pour l'accès aux ressources, enjeux pour la biodiversité, etc. – nécessitent une réponse scientifique pluridisciplinaire. Face à l'impératif climatique et afin de poursuivre la recommandation du GIEC de limiter le réchauffement global à 1.5°C par rapport à l'ère préindustrielle, il est urgent dans la décennie à venir de s'engager pour l'atténuation des émissions de gaz à effets de serre, pour l'adaptation et pour la préservation de la biodiversité. The Transition Institute 1.5 (TTI.5) est la réponse de Mines Paris à ce contexte complexe.

L'Institut TTI.5 est une **structure s'appuyant sur une vision partagée** élaborée en co-construction par les différentes entités de Mines Paris - PSL. Articulé autour d'un projet scientifique ambitieux, TTI.5 permet de mailler des compétences en interne et en association avec des réseaux prestigieux.

En intégrant l'ensemble de ces travaux dans son champ de réflexion, TTI.5 propose une **meilleure articulation des contributions de l'École autour d'une transition joignant atténuation et adaptation**. Ceci doit permettre à Mines Paris de se positionner en lieu d'influence en interaction forte avec la société, pour **éclairer le débat public et les choix des décideurs**. Ainsi TTI.5 joue à la fois un **rôle de fédération et de rayonnement** : d'une part, il permet une lisibilité et une visibilité accrues des recherches et développements techniques, économiques et sociaux réalisés par l'ensemble des acteurs de l'École autour de la transition ; d'autre part, il positionne l'École comme un acteur majeur de la recherche de sortie des impasses que connaissent aujourd'hui les questions liées au changement climatique.

Pour réaliser ces missions, TTI.5 a été structuré dans le but de **permettre aux enseignants-chercheurs de tous les départements de l'École de s'investir dans son fonctionnement et dans son programme scientifique** (Comité de suivi, enseignants-chercheurs référents, appel à projets pour le financement de thèse et post-doc). Nous avons également mis en place de nombreux événements fédérateurs (Forum, workshop, webinaires, formation internationale) et des **outils pour créer une dynamique et pour faire rayonner leurs recherches** en lien avec la transition, en interne comme vers l'extérieur (Forum public, Workshop interne, Webinaires, Podcasts, Certificat Petra). Nous concentrons également une partie conséquente de nos efforts vers les élèves et les élèves-chercheurs grâce à la mise en place du parcours académique, du parcours doctoral TTI.5 et via l'organisation d'une semaine de formation internationale.

Pour plus d'informations, retrouvez le manifeste de l'Institut ici :

https://the-transition-institute.minesparis.psl.eu/wp-content/uploads/2025/03/2025-02-Manifeste_FR_tti.5.pdf



2. Notre ORGANISATION

L'Institut est composé d'acteurs internes et externes qui participent au bon fonctionnement et au rayonnement de TTI.5.

2.1 Les acteurs internes

Direction et équipe pilote



Nadia MAÏZI
Directrice de TTI.5



Claire CAUMEL
Cheffe de projet en charge de la coordination de TTI.5



Sabrina BEKLI
Chargée de coordination des parcours académique et doctoral TTI.5



Cyrielle GAGLIO
Ingénieure de recherche pour TTI.5, chargée de coordination et animation des axes du programme scientifique



Noémie BOICHOT
Chargée de communication pour TTI.5



Alice SPASARO
Responsable administrative et diffusion scientifique pour TTI.5

Le comité de suivi interne

Le comité de suivi a un rôle décisionnaire. Composé d'enseignants, de chercheurs et d'élèves de Mines Paris – PSL, de représentants des services communs, il a la charge de la politique scientifique de l'Institut et assure sa mise en œuvre. Le comité de suivi met en place les jurys de sélection des candidatures des thèses, réalise un suivi régulier des travaux de l'Institut, valide le budget et son attribution.

Liste des membres :

- Murad ABUAISHA (GEOSCIENCES)
- Benjamin COMBES (représentant des doctorants labellisés, CGS)
- Gaëlle COUTANT (Mines Paris-PSL)
- Francesco DELLORO (MAT)
- Cathy DESCAMPS-LARGE (ISIGE)
- Petr DOKLADAL (CMM)
- Théodore FONTENAILLE (représentant des doctorants financés, CEEP et CGS)
- Siegfried FOUVRY (MAT)
- Sophie GUILLON (GEOSCIENCES)
- Sébastien JOANNES (MAT)
- Agnès LABOUDIGUE (Direction de la Recherche)
- Augustin LE CORRE (représentant du cycle Ingénieur Civil)
- Nadia MAÏZI (Directrice de TTI.5)
- Clément MARQUET (CSI)
- Matthieu MAZIÈRE (DIRENS/MAT)
- Charbel MOUSSA (CEMEF)
- Thibault PLAYS (CTP)
- Magalie PRUDON-RIVIÈRE (Bibliothèque)
- Sandrine SELOSSE (CMA)
- Oriane SENNINGER (CEMEF)
- Claude TADONKI (CRI)
- Isabelle THENEVIN (GEOSCIENCES)

Les enseignants-chercheurs

Sur la base du volontariat, les enseignants-chercheurs de l'École s'impliquent comme :

- Référents par axe de recherche
- Porteurs de thèses, de projets
- Encadrants de doctorants, d'élèves
- Animateurs de séminaires
- Rédacteurs de contenu
- Membres du comité de suivi interne

Plus d'information sont disponibles dans le guide interne TTI.5 : https://the-transition-institute.minesparis.psl.eu/wp-content/uploads/2024/11/Guide_interne-21-11-2024.pdf

Ils ont rejoint TTI.5 en 2024

Noémie BOICHOT a rejoint TTI.5 en octobre 2024 en tant que chargée de communication. Après un parcours en classes préparatoires littéraires et à l'Institut d'Études Politiques d'Aix-en-Provence, Noémie a acquis durant 7 ans une solide expérience dans le domaine de la communication majoritairement axée autour du secteur culturel. En rejoignant TTI.5, elle participe à la mise en lumière des enjeux de transition écologique auprès d'un plus large public en mettant à profit ses compétences liées à la communication, l'organisation d'évènements et le suivi de projets.

Cyrielle GAGLIO a rejoint TTI.5 en novembre 2024 en tant qu'ingénieure de recherche en charge de la coordination et de l'animation des axes de recherche de l'institut. Cyrielle est titulaire d'un doctorat en sciences économiques de l'Université Côte d'Azur (2017) appliqué au commerce international. Après sa thèse, elle a rejoint l'Observatoire Français des Conjonctures Économiques (OFCE) au sein de la Fondation Nationale des Sciences Politiques (FNSP) pour un postdoctorat sur la transformation numérique de l'économie française. Elle a ensuite été chargée d'études auprès de l'Université de Johannesburg dans le cadre de la chaire *Trilateral Chair in Transformative Innovation, the Fourth Industrial Revolution and Sustainable Development* puis chargée d'études auprès de l'Université d'Helsinki dans le cadre de deux projets européens : (i) *Innovating Food Value Chain Innovations* et (ii) *Making Agricultural Trade Sustainable*. Depuis 2021, elle est chercheuse associée au département d'économie et de management de l'Université d'Helsinki. Plus récemment, elle a été économiste à la Banque Publique d'Investissement (BPI) au sein du département de l'évaluation, des études et de la prospective.

Amal SAIDI a rejoint TTI.5 en octobre 2024 (pour un projet de 18 mois) en tant qu'ingénieure en sciences des données afin de collaborer avec des chercheurs des axes 3 et 4 sur un projet de recherche dédié aux ressources minières. Amal est titulaire d'une licence en mathématiques appliquées et d'un master en intelligence artificielle et systèmes de données, obtenus à l'Université Paris Dauphine – PSL. Elle est data scientist depuis 2 ans et a une expertise solide dans l'analyse de données. Au sein de l'institut, elle participe à l'étude de la représentation spatiale de l'extraction et de la transformation des différentes matières premières nécessaires pour le monde d'aujourd'hui et de demain afin d'accompagner les stratégies de transition (cf. rapport scientifique, p.67).

Andrés TÉLLEZ ÁVILA a rejoint TTI.5 en novembre 2024 (pour un projet de 24 mois) en tant qu'ingénieur de recherche afin de collaborer avec des chercheurs de l'axe 2 sur un projet de recherche dédié à la mobilité électrique. Andrés est titulaire d'un diplôme d'ingénieur en énergie et d'un master en économie. Il a consacré ses 12 années d'expérience, aussi bien dans le secteur public que privé, à la conception et à l'évaluation de projets liés à l'efficacité énergétique dans les secteurs de l'industrie et du transport. Au sein de l'institut, il participe à l'étude de l'électrification du secteur des transports en adoptant une approche holistique qui croise les perspectives techniques, économiques, sociales et environnementales (cf. rapport scientifique, p.54).

2.2 Les acteurs externes

Le Conseil de TTI.5

Le Conseil de TTI.5 joue un rôle consultatif. Il réunit, deux fois par an, l'ensemble des mécènes de l'Institut ainsi que des observateurs et parties prenantes invitées par la direction de TTI.5.

Il s'agit d'un espace d'animation, d'échanges et de débats. Les discussions, sources d'éclairages sur les points d'attention, sur les problématiques concrètes et sur les réalités de terrain, permettent de discuter et d'enrichir les questions de recherche portées par l'Institut et d'interagir sur les modalités de diffusion de leurs résultats.

2.3 Structuration interne de l'Institut et dynamique de collaboration prolifique

L'Institut a fêté son second anniversaire au mois de mai 2024, le bilan en cette fin d'année civile est très satisfaisant.

a) Constitution d'une communauté interne

TTI.5 a réussi à créer **une communauté en interne active composée de presque 200 chercheurs, doctorants, élèves et personnel administratif** de l'École :

- Plus de 100 enseignants-chercheurs et personnels administratifs
 - 54 chercheurs sont impliqués directement dans le fonctionnement de l'institut et/ou dans l'animation des axes de recherche ;
 - 72 sont encadrants de thèses TTI.5 et de thèses de Mines Paris - PSL que nous avons labellisées TTI.5 sur candidature ;
 - 6 personnels administratifs impliqués dans le fonctionnement (hors équipe pilotage de l'Institut)
- 56 doctorants ont intégré [le parcours doctoral](#) que nous avons créé et 38 doctorants de Mines Paris ont rejoint le parcours de labellisation TTI.5.
- 30 élèves du cycle ingénieur civil de Mines Paris - PSL sont impliqués dans notre parcours académique. Parmi ceux-ci, 14 diplômés ont reçu le label TTI.5.

Cette communauté est répartie dans les **5 départements de Mines Paris - PSL** (Économie, management et société, Énergétique et procédés, Mathématiques et Systèmes, Mécanique et matériaux, Sciences de la terre et de l'environnement).

b) Mise en place d'une dynamique d'échanges et de collaboration prolifique au sein de Mines Paris - PSL

Nous avons insufflé une dynamique d'échange et de collaboration entre les centres et les départements de l'École à travers :

- le financement de 17 thèses + 1 post-doc interdisciplinaires et dirigés par des chercheurs de départements différents
- le **référencement** de l'ensemble des travaux de thèse et des projets de recherche de l'École en lien avec la transition dans une base de donnée accessible [en ligne](#)

- la **co-construction des trajectoires de recherche** de l'Institut lors d'une journée de workshop interne en avril 2024 qui a réuni plus de 80 chercheurs et doctorants de tous les départements
- des **productions écrites** (14 notes d'éclairages, des synthèses de webinaires, 3 working papers)
- la **valorisation et la diffusion de travaux** de recherche (webinaires publics interdépartements, des posters et exposés de doctorants)
- l'organisation de 2 éditions du Prix TTI.5 de la controverse environnementale destiné à récompenser la qualité du travail de groupes d'élèves du cycle ingénieur civil de Mines Paris
- la **diffusion des évènements** de Mines Paris en lien avec la transition (**plus de 50 évènements relayés** sur notre site web et nos réseaux sociaux à ce jour), etc.

Pour favoriser l'association de tous les personnels au rayonnement et à la dynamique de l'Institut, nous avons rédigé un « Guide Interne » à destination des permanents de l'École. Ce guide est disponible au téléchargement à ce lien : https://the-transition-institute.minesparis.psl.eu/wp-content/uploads/2024/11/Guide_interne-21-11-2024.pdf



2nd Workshop TTI.5 ©Frédérique Toulet

TÉMOIGNAGES



Oriane SENNINGER est enseignante-chercheuse, spécialiste de la physique des transformations se produisant dans les métaux. Elle a rejoint le comité de suivi en 2023 et co-animé le workshop et le forum 2024 avec Sébastien Joannès.

« Mes activités de recherche visent à améliorer notre compréhension physique des métaux et de leur comportement. Ainsi, depuis le début de ma carrière, ma thématique de travail est motivée par des questions de curiosité scientifique et/ou de résolution de problématiques industrielles qui sont passionnantes mais rarement à visées directement environnementales. Dans ma vie civile, je suis une personne très investie dans la transition, et je souhaitais pouvoir introduire ces préoccupations dans mes activités professionnelles. Mon objectif premier en rejoignant TTI.5 était donc de contribuer au développement de recherches pour la transition écologique. Par ailleurs, ma participation aux différents comités de suivi et à l'animation du workshop 2024 me permet petit à petit de découvrir la richesse de la recherche à l'Ecole des Mines, et à PSL plus largement, et la puissance du travail multidisciplinaire pour trouver des solutions innovantes à des problématiques concrètes du monde d'aujourd'hui. J'espère un jour me lancer dans la proposition d'un projet où je pourrai mettre à contribution mon expertise scientifique dans cette aventure. »



Petr DOKLADAL est enseignant-chercheur spécialisé dans l'analyse d'images et l'Intelligence artificielle, rattaché au Centre de Morphologie Mathématique.

« J'ai rejoint le comité de suivi au moment de la création de TTI.5, ça fera donc bientôt 3 ans. J'ai rejoint ce comité car je souhaitais contribuer à la transition technologique permettant à l'industrie de prendre le virage de la production décarbonée. En regardant le transport, par exemple, il est certes utile de prendre son vélo pour aller travailler mais il sera nettement plus efficace de décarboner toute l'industrie du transport car tout le monde ne peut pas prendre son vélo. Bien sûr, c'est caricatural, mais cela illustre cette motivation. De là découle mon intérêt et mon activité au sein du comité de suivi, afin d'aider à orienter les décisions et la stratégie de TTI.5, de choisir et financer les projets de recherche les plus utiles pour la décarbonation de l'industrie. Je suis également l'un des chercheurs-référents de l'Axe 2, « La planète électrique ». En 2024, nous avons organisé une table ronde à laquelle nous avons invité plusieurs chercheurs de l'Ecole des Mines impliqués dans toutes les phases de production de l'énergie électrique. Cela a permis de clarifier les enjeux qui doivent être résolus : extraction des ressources, génération, stockage et distribution de l'énergie électrique, avant de pouvoir disposer véritablement de l'électricité verte. Dans le cadre de l'Axe 2, nous avons également embauché en 2024 un jeune ingénieur afin de recenser toutes les compétences et axes de recherche de l'Ecole des Mines sur la thématique de la production de l'électricité verte. »

3. NOS FORMATIONS

3.1 Le parcours académique

Les élèves du Cycle Ingénieur Civil peuvent s'inscrire au parcours TTI.5 en début de 2e année. Ce parcours leur permet d'orienter leur formation sur les enjeux de la transition.

Pour valider le parcours, les élèves devront remplir plusieurs conditions : suivre un certain nombre d'enseignements spécialisés labellisés TTI.5, choisir un sujet de trimestre de recherche ou de stage s'inscrivant dans la thématique de la transition, contribuer à la communauté TTI.5 (rédiger une note d'éclairage, faire un compte-rendu de séminaire, etc.).

Les élèves de la première promotion recevront leurs certificats officiels en même temps que leur diplôme d'ingénieurs civils !

→ En 2024, 14 élèves diplômés du Cycle Ingénieur Civil de Mines Paris - PSL ont été certifiés TTI.5. 16 élèves du Cycle sont en cours de labellisation.

TÉMOIGNAGE



Augustin LE CORRE
est élève en 3^{ème} année
du cycle Ingénieur Civil
des Mines Paris - PSL,
qu'il représente en
tant que délégué
auprès du comité de
suivi de TTI.5

« Je m'intéresse aux problématiques énergétiques, mais aussi surtout à la gestion des ressources, autant minières, que pour l'eau ou encore les forêts.

J'ai pu réaliser d'ailleurs pendant mon année de césure deux stages sur ces thématiques, un premier chez Imerys dans la décarbonation d'une usine de traitement de minerai, et un deuxième chez Neosylva, jeune start-up du secteur forestier.

J'ai rejoint le TTI en septembre 2023 durant mon année de césure, afin de pouvoir voir de l'intérieur l'institut et ses activités, ainsi que de pouvoir participer à ma modeste échelle.

J'ai été nommé délégué du cycle ingénieur civil auprès du comité de suivi de TTI.5, ce qui me permet de communiquer auprès des élèves à propos de l'Institut et de pouvoir participer aux réunions de suivi. Je compte aussi bientôt pouvoir aider à retranscrire le contenu d'un futur webinaire ! »

3.2 Le parcours doctoral : le doctorat financé et labellisé

Le parcours doctoral TTI.5 offre deux types d'affiliation dont voici les principes :

Le doctorat financé par TTI.5 :

TTI.5 a pour vocation première le financement de thèses interdisciplinaires en lien avec ses thématiques de recherche, dans un cadre collaboratif axé sur la promotion des échanges en interne et la diffusion en externe, ainsi qu'un accès à des formations dédiées.

Les sujets de thèse proposés sont issus d'un appel à projets auquel les enseignants-chercheurs de l'Université PSL et de Mines Paris – PSL peuvent répondre.

➡ En 2024, 2 doctorants ont été labellisés TTI.5, 56 doctorants et post-doc sont inscrits dans le parcours doctoral, 17 doctorants et un post-doc sont financés.

TITRE	CENTRES	AXE DE RECHERCHE	ENCADRANTS	DOCTORANT / POST-DOC
Adaptation des modèles de prospectives à un changement de paradigme sociétal. Exploration des indicateurs pertinents pour le pilotage de la transition écologique.	CMA / CGS	Axe 1 : Le design de la transition	MAIZI Nadia et AGGERI Franck	FEIX Thibaut
Optimisation de l'énergie géothermique de subsurface : du sous-sol au bâtiment	GOESCIENCES / CEEP		JAHANGIR Emad, ROUABHI Ahmed, TRAN Cong-toan	BEZ Fabien
Analyses économétriques des politiques en faveur de la rénovation énergétique des logements	CERNA / CEEP		GLACHANT Matthieu, DUPLESSIS Bruno	WALD Guillaume
Evaluation de la capacité de développement de la production primaire de Lithium à l'horizon 2040	GEOSCIENCES/CERNA		GOETZ Damien, GLACHANT Matthieu	MORTADA Zeinab
Qu'est-ce qu'un jean durable ?	CSI/ MAT		PONTILLE David, DELORO Francesco	BEAURE D'AUGÈRES Mariam
Interactions fluides roches- Application au stockage souterrain de l'hydrogène	CTP / GEOSCIENCES		ROUABHI Ahmed, ABUAISHA Murad, HADJ-HASSEN Faouzi, STRINGARI Paolo, HOCEINI Salem	CHAABI Rania
Étude des liens entre prospective et gouvernance autour des scénarios d'atténuation du changement climatique recensés par le groupe III du GIEC	CSI / CMA		COINTE Béatrice, MAÏZI Nadia	STÜHRENBERG Lou
Durabilité et cycle de vie de la machine électrique, au cœur des enjeux d'une transition bas-carbone	MAT / OIE	Axe 2 : Une planète électrique ?	ARNAUD Pierre, JOANNES Sébastien	SAHAOUI Mohamed
Perceptually Based Frugal Models for Low-Carbon AI	CMM / Département d'études cognitives (ENS- PSL)		DOKLADAL Petr, NERI Peter	DOUTSAS Delphine
Carbon-aware High-Performance Artificial Intelligence	CRI / CMM / CEMEF		Claude TADONKI, Petr DOKLADAL, Youssef MESRI	NANA TCHAKOUTÉ Roblex

Energy saving by employing thermal superinsulating bio-aerogels	CEMEF / PERSEE	Axe 3 : La Planète inclusive	BUDTOVA Tatiana, RIGACCI Arnaud	EFFRAIMOPOULOU Eleni
PREBAT : De la conception à la mise en place : la politique de rénovation des bâtiments à l'épreuve des usage(r)s [Post-doc]	ISIGE / PERSEE		FLORENTIN Daniel et Robin GIRARD	PERRIN Julie
TASER : Traitements par pLASma froid de fibrEs biosourcées : Vers une chaîne complète d'éco-conception et usage de bio-composites pour l'Industrie 4.0	PERSSEE / CEMEF		ROHANI Vandad-Julien, BOYER Séverine A.E., Alain BURR	PERRIER-MICHON Flavien
Modèles et outils pour le développement de micro-réseaux de chaleur en milieu rural	CEEP / CGS		STABAT Pascal, FABRE Antoine, AGGERI Franck & BEULQUE Rémi	FONTENAILLE Théodore
BIODRAG : Biopolymer-induced drag reduction: a promising technique to minimize water and electricity wastes in water pumping systems	CEMEF / CMM		SOEIRO PEREIRA Anselmo, HACHEM Elie, FLIGUIZZI B.	EL KHOURY Ricardo
Résilience des services écosystémiques produits par les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (SafN) : l'exemple du génie végétal sur les berges des cours d'eau	ISIGE / INRAE	Axe 5 : La planète vivante	GARBOLINO Emmanuel, EVETTE André	SOTO VARGAS Hanna
Classification automatique de plancton lacustre pour la caractérisation du fonctionnement de l'écosystème	CMM / CEREEP (ENS)		DECENCIERE Etienne, LE GALLIARD Jean-François	Recrutement en cours
Protection de la biodiversité en entreprise et dans les institutions financières : instrumentation, pratiques, limites et perspectives	CGS / ISIGE		BEULQUE Rémi, AGERRI Franck, GARBOLINO Emmanuel	PONSOT Astrid

Tableau 1 : Thèses et post-doc financés par l'Institut en 2024 (le financement des projets de thèses et de post-docs se fait à la suite d'un processus d'appel à projets).

Le doctorat labellisé TTI.5

En plus des thèses financées par l'Institut, de nombreuses thèses en cours ou à venir à Mines Paris – PSL entrent dans les thématiques de recherche de TTI.5. Les doctorants, avec l'accord de leurs directrices et directeurs de thèse, peuvent candidater pour rejoindre le parcours. Cela leur permettra de les intégrer à la communauté TTI.5, de bénéficier d'une formation dédiée et d'une mise en avant de leurs travaux par l'Institut. Par exemple, The Transition Institute 1.5 organise un webinaire bimestriel réservé aux doctorants du parcours au cours duquel ils peuvent échanger sur leurs travaux avec des camarades de disciplines diverses. Une fois le parcours entièrement complété et la thèse soutenue, ils recevront le certificat de labellisation TTI.5.

➡ La liste complète des thèses labellisées est accessible ici : <https://the-transition-institute.minesparis.psl.eu/actualite/les-theses-labellisees-tti-5/>

TÉMOIGNAGES



Théodore FONTENAILLE, doctorant en 2^{ème} année à Mines Paris - PSL (CEEP et CGS) et représentant des doctorants financés de l'Institut.

« Ma thèse est financée par l'Institut et s'inscrit dans l'axe 3 *La planète inclusive*.

Dans ce cadre, mon travail vise à comprendre les spécificités de la ruralité et à alimenter des réflexions plus globales sur les enjeux de la transition.»

« Mon travail de thèse concerne **la transition énergétique des territoires ruraux en France hexagonale**.

J'aborde ce sujet avec une perspective interdisciplinaire en mobilisant deux disciplines: le génie énergétique et les sciences de gestion, portées par le CEEP et le CGS.

J'essaie de comprendre dans quelle mesure des systèmes techniques de mutualisation de la chaleur peuvent permettre de réduire les émissions de gaz à effet de serre en utilisant des sources d'énergies renouvelables et locales. C'est un sujet que j'ai découvert en commençant à préparer mon projet de thèse. J'étais avant tout motivé par le dépassement des frontières disciplinaires et par les répercussions concrètes envisageables.

Être représentant des doctorants financés de l'Institut implique de porter leur voix au sein du Conseil et, en particulier, de m'assurer que leur doctorat puisse se poursuivre dans les meilleures conditions.

Cette expérience me permet de mieux comprendre le fonctionnement du monde de la recherche et de suivre de plus près le travail de l'Institut. »

« Mes recherches portent sur la sobriété en entreprise. Je m'intéresse à la manière dont les entreprises s'approprient le concept : par quels outils, par quels modèles d'affaires et quelles pratiques, mais aussi avec quelles tensions.

C'est un sujet qui m'intéresse depuis mon expérience comme formateur : les professionnels que je rencontrais semblaient convaincus de la nécessité de ralentir dans la production et la consommation, mais manquaient de pistes d'action concrètes. Mes recherches visent à mettre en lumière ces organisations qui tentent la sobriété, avec leurs réussites et leurs échecs.

Ma thèse s'inscrit dans l'axe de recherche de l'Institut *La planète inclusive*, car il s'agit d'embarquer entreprises, institutions et consommateurs-citoyens autour de la problématique de la raréfaction des ressources et des inégalités qui en découlent.

Représenter les doctorants labellisés par TTI.5 m'a offert l'opportunité de porter leurs intérêts devant le Conseil de l'Institut [...] Je travaille de concert avec le représentant des doctorants financés et l'équipe TTI.5 pour participer à la valorisation de ces recherches

L'Institut me permet d'accéder à des formations et à un précieux réseau d'experts sur ces sujets. »



Benjamin COMBES, doctorant en 2^{ème} année au CGS de Mines Paris - PSL et représentant des doctorants labellisés de l'Institut.

« Nous avons la chance à Mines Paris - PSL de rassembler un réseau très diversifié de laboratoires et de disciplines autour des sujets de transition écologique.»

3.3 Contributions scientifiques des doctorants du parcours



Axe 1 : Le design de la transition

• Doctorants financés

Fabien BEZ (GEOSCIENCES et CEEP)

- Présentation webinar des Doctorants : « Sizing optimization of a shallow geothermal energy extraction system over its entire lifespan: from the underground to the building »
- Participation à «Ma thèse en 3 Minutes», dans le cadre du Workshop TTI.5

Thibaut FEIX (CMA et CGS)

- Publication dans *Journal of Resources Policy* : Feix & Hache, 2025, Cumulative Energy Demand and Global Warming Potential of Metals and Minerals Production: Assessment, Projections and Mitigation Options
- Cours M FCC (Sustainable Lifestyles and systemic approach towards Post-growth), MS OSE (Economie écologique et dynamique des systèmes) et Polytech Nice - Mathématique Appliquées et Modélisation (Economie écologique, post-croissance et dynamique des systèmes)
- Participation à l'événement de vulgarisation Pint of Science (DOI : 10.1016/j.resourpol.2025.105516)

Zeinab MORTADA (GEOSCIENCES et CERNA)

- Avril 2024 : Participation aux JDD à l'Université de la Sorbonne avec un poster.
- Participation à la SUMMER SCHOOL : « Éthique et Environnement » & « Data Mining », organisée par le Centre de Géosciences et L'ISIGE Mines Paris
- Rédaction d'un rapport sur l'éthique environnementale dans le cadre de la Summer School

Guillaume WALD (CERNA et CEEP)

- Economics of Decarbonizing the Built Environment webinar, National Bureau of Economic Research (NBER); envecon, UK Network of Environmental Economists, London, United Kingdom;
- 10th Atlantic Workshop on Energy and Environmental Economics, A Toxa, Spain;
- 15th International workshop on Empirical Methods in Energy Economics, ETH Zurich, Swiss;
- 12th Mannheim Conference on Energy and the Environment, ZEW Mannheim, Germany;
- 10^{ème} Conférence Évaluation des politiques publiques, Direction Générale du Trésor (DGT) and Association Française de Science Economique (AFSE), Paris, France;
- 29th Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists, Leuven, Belgium;
- 11th Annual Conference of the French Association of Environmental and Resources Economists, Strasbourg, France;

- 14th JT of the French Association of Environmental and Resources Economists, Aubervilliers, France;
- 19th Doctorissimes Conference, Paris School of Economics (PSE), Paris, France;
- Workshop on Labour Economics 2024, Institute for Labour Law and Industrial Relations in the EU (IAAEU) & Joint Research Center (JRC) of the European Commission, Trier, Germany;
- XXVI Applied Economics Meeting, Asociación Libre de Economía, Santander, Spain.
- "The Effect of Energy Efficiency Obligations (EEOs) on Residential Energy Use: Empirical Evidence from France", with Matthieu Glachant, Jun. 2024. Working Paper.
- "Making Jobs out of the Energy Transition: Evidence from the French Energy Efficiency Obligations Program", with François Cohen and Victor Kahn, Feb. 2024. IEB Working Paper.
- [Podcast «Planète en transition» TTI.5 : «Soutien public à la rénovation énergétique : un pari gagnant ?»](#)

• Doctorants labellisés

Inès BEN KHALED (GEOSCIENCES)

Présentation du webinaire des Doctorants : «Inferring permeability enhancement during fault slip reactivation in the laboratory»

Marion DESHOULIERES (CGS)

Présentation du webinaire des Doctorants : «Action Logics of Intermediaries in Managing Unknowns for Environmental Transition: Accelerating the Transformation of Industrial Ecosystems through Innovative Design Methods»

Thomas ENJALBERT (CGS)

- Congrès, EURAM 2024, CGS i3, Mines Paris - PSL (École nationale supérieure des mines de Paris), PSL, I3, CNRS
- Congrès, RIODD 2024, CGS i3, Mines Paris - PSL (École nationale supérieure des mines de Paris), PSL, I3, CNRS
- Présentation du webinaire des Doctorants : « Moyens et modalités d'action des investisseurs responsables face aux transitions »
- Communication dans un congrès, EURAM 2024, CGS i3, Mines Paris - PSL (École nationale supérieure des mines de Paris), PSL, I3, CNRS, Thomas Enjalbert, Kevin Levillain, Blanche Segrestin, "Building on financial relationships to enable the environmental and social performance of responsible portfolios?", EURAM : Fostering Innovation To Address Grand Challenges
- Communication dans un congrès, RIODD 2024, CGS i3, Mines Paris - PSL (École nationale supérieure des mines de Paris), PSL, I3, CNRS, Thomas Enjalbert, Kevin Levillain, Blanche Segrestin, «Normes de performance climatique des entreprises et effectivité des transitions», 19E CONGRÈS DU RIODD : IMAGINER, EXPÉRIMENTER ET PÉRENNISER LA SOUTENABILITÉ FORTE
- Article dans une revue (à paraître), Jérémy Lévêque, Thomas Enjalbert, Kevin Levillain, Blanche Segrestin. « How To Keep Track On Impact Investing Promises: Exploring The Potentials Of New Governance Schemes. Journal of Innovation Economics & Management, In press.»

Hana YAHIA (GEOSCIENCES)

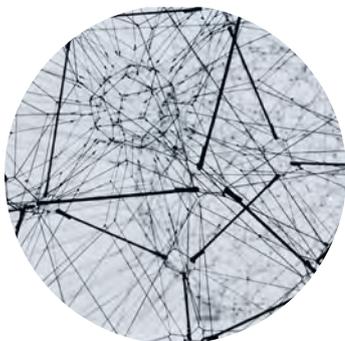
- Présentation du webinaire des Doctorants : «Physics-informed neural network for the estimation of friction parameters in drilling»

Emilienne LARDY (CGS)

- Congrès, WASET, Jul 2024, Paris, France
- Congrès, AIRL-SCM 2024, May 2024, La Rochelle, France
- Communication dans un congrès, Emilienne Lardy, Mariam Lafkihi, Eric Ballot. Urban logistics dynamics: a user-centric approach to traffic modelling and kinetic parameter analysis. International Conference on Urban Traffic Congestion, WASET, Jul 2024, Paris, France. (halshs-04610755)
- Communication dans un congrès, Emilienne Lardy, Mariam Lafkihi, Eric Ballot. Identification de comportements des points de livraison à Paris : opportunités pour la mutualisation à grande échelle. AIRL-SCM 2024, May 2024, La Rochelle, France. (halshs-04578676).

Luciano MEIRELLES SANTANA (MAT)

- European Conference on Fracture, Zagreb, Croatia. Santana, L. M., Pinto, D. L., Furtado, J., Marchais, J.-P., Bourguignon, F., Meddour, A., Besson, J. & Madi, J. (2024). Testing Gaseous Hydrogen Embrittlement in Steel using Sub-Size Fracture Toughness Specimens.
- Santana, L. M., Pinto, D. L., Osipov, N., Furtado, J., Bourguignon, F., Marchais, P. J., Madi, Y., & Besson, J. (2024). Study of hydrogen embrittlement in steels using modified pressurized disks. International Journal of Hydrogen Energy, 88, 498-514. [DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.09.165]
- Madi, Y., Santana, L. M., Belkacemi, S., Farrugia, V., Meddour, A., Marchais, P. J., Bertin, M. & Furtado, J. (2024). Mechanical characterization of hydrogen embrittlement in a gaseous environment: An innovative test setup using sub-size specimens. Engineering Failure Analysis, 162, 108362. [DOI: 10.1016/j.engfailanal.2024.108362]
- Santana, L. M., Okumko, V., King, A., Morgeneyer, T. F., Besson, J. & Madi, Y. (soumis). Investigating the Influence of Strain Rate on Hydrogen Embrittlement in Steel Sub-size Tensile Specimens Using X-ray 3D Tomography. International Journal of Hydrogen Energy.



Axe 2 : Une planète électrique ?

• Doctorants financés

Delphine DOUTSAS (CMM et ENS)

- Participation à la conférence WHISPERS 2024 : «14th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing : Evolution in Remote Sensing» , 09-11 December 2024 Helsinki, Finland
- Article pour conférence WHISPERS 2024 : « Optimal transport-based hyperspectral unmixing for highly mixed observations ».

Roblex NANA TCHAKOUTE (CRI et CMM)

- Participation à la conférence : 2024 International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing Workshops (SBAC-PADW) , Nov. 13 2024 to Nov. 15 2024 Hilo, HI, USA
- Article Conférence 2024 International Symposium on Computer Architecture and High Per-

formance Computing Workshops (SBAC-PADW) : [« A Flexible Operational Framework for Energy Profiling of Programs »](#)

- Article Conférence 2024 International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing Workshops (SBAC-PADW) : [« Experimental Study of Power Consumption of Basic Parallel Programs »](#)
- Poster JD2A : «A FLEXIBLE TOOL FOR ENERGY MEASUREMENT OF PROGRAMS»
- Chapitre «Power Consumption in HPC-AI Systems» dans l'ouvrage [«Artificial Intelligence and High Performance Computing in the Cloud»](#)
- Participation à «Ma thèse en 3 Minutes», dans le cadre du Workshop TTI.5.

Mohamed SAHAOUI (MAT et OIE)

- Présentation au SETAC LCA Symposium 2024, à Göteborg : «Electric Motors: A Parametrized Life Cycle Inventory Model Bolstered By Interdisciplinary Primary Data
- Présentation au Séminaire «Fibres» au Centre des matériaux, à Évry : «Durée de vie en fretting des monobrins en cuivre émaillés pour la soutenabilité environnementale des machines électriques»
- Présentation au Séminaire des doctorants au Centre OIE, à Sophia-Antipolis : «Lifespan of enamelled copper single-strands for the environmental sustainability of electric machines»
- Présentation Poster lors des Journée Internationales de Tribologie (JIFTS) à Poitiers
- Présentation Poster lors de la conférence Management du Cycle de Vie (MCV) 2024, à Lille.

• **Doctorants labellisés**

Clémence PINOT (MAT)

- Participation aux journées annuelles 2024 de la SF2M sur le thème «Empreinte matériaux»
- Présentation dans la thématique : «Amélioration des propriétés pour plus de durabilité» intitulée «Batterie Lithium-ion : étude du vieillissement des matériaux d'électrode positive»
- Participation à «Ma thèse en 3 Minutes», dans le cadre du Workshop TTI.5.

Nelly PONS (CEMEF et MAT)

Présentation webinar des Doctorants TTI.5 : «Effects of clay filler contents and a high voltage electric field on the microstructure and mechanical response of 3D-printed PVDF composites»

Maxime VRAIN (PERSEE)

- Participation à la conférence SDEWES 2024 Dubrovnik pour présenter l'étude «The flexibility contribution of District Heating Networks to the 2050 European Energy system»
- [Article publié sur Science Direct :»A spatially-explicit method for generating prospective district heating scenarios - ScienceDirect«.](#)



Axe 3 : La planète inclusive

• Doctorants financés

Eleni EFFRAIMOPOULOU (PERSEE et CEMEF)

- 7th International seminar on aerogels (2024, Hamburg, Germany). Effraimopoulou E., Paraskevopoulou P., Jaxel J., Budtova T., Rigacci A. "Pectin-polyurea composite aerogels for thermal insulation applications" (poster presentation)
- 6th EPNOE Junior Scientist Meeting (2024, Vienna, Austria). Effraimopoulou E., Jaxel J., Rigacci A., Budtova T. "A route to obtain pectin aerogel-like porous materials without supercritical or freeze drying" (oral presentation) in Pectin Aerogels via Chemical Modifications" (oral presentation)
- ACS Spring 2024: Many flavors of chemistry (2024, New Orleans, Louisiana & hybrid). Effraimopoulou E., Beaumont M., Rosenau T., Jaxel J., Rigacci A., Budtova T. "Enhancing Hydrophobicity in Pectin Aerogels via Chemical Modifications" (oral presentation)
- [Effraimopoulou, E.; Jaxel, J.; Budtova, T.; Rigacci, A. Hydrophobic Modification of Pectin Aerogels via Chemical Vapor Deposition. Polymers, 2024, 16, 1628. https://doi.org/10.3390/polym16121628](https://doi.org/10.3390/polym16121628)
- [Working Paper TTI.5 : Effraimopoulou E. « An overview of aerogels as advanced thermal insulation materials ». 2024, 10.23646/5W60-J645](https://doi.org/10.23646/5W60-J645)

Théodore FONTENAILLE (CEEP)

- Participation à : The International Conference on New Business Models, Jul 2024, San Sebastian, Spain.
- [Article de conférence à the International Conference on New Business Models, Jul 2024, San Sebastian, Spain : «The Uninclusive Transition to Heating Networks in French Rural Areas».](#)

Flavien PERRIER-MICHON (PERSEE et CEMEF)

Poster présenté durant la 18^{ème} Journée Scientifique et Industrielle du Groupe Français des Polymères (GFP).

• Post-doctorante financée

Julie PERRIN (ISIGE)

- Présentation Congrès AESOP, 7-12 July : Perrin J, Florentin D, Girard R (2024) «Tempo and legibility of France's housing renovation policy: too fast to work?»
- Présentation Journées d'étude Mines Paris PSL « Rénover pour la transition. Approches de sciences sociales des marchés de la rénovation énergétique », 21-22 Mars : Perrin J, Florentin D, Girard R (2024) «La structuration de la politique de rénovation énergétique des bâtiments : les évolutions des formes de coordination au prisme de la notion de service public

- Présentation Congrès AESOP, 7-12 July : Perrin J, Florentin D, Girard R (2024) «Tempo and legibility of France's housing renovation policy: too fast to work?»
- Présentation Journées d'étude Mines Paris PSL « Rénover pour la transition. Approches de sciences sociales des marchés de la rénovation énergétique », 21-22 Mars : Perrin J, Florentin D, Girard R (2024) «La structuration de la politique de rénovation énergétique des bâtiments : les évolutions des formes de coordination au prisme de la notion de service public»
- Perrin, J. (2024). « L'État en quête d'une stratégie énergie-climat », Poupeau François-Mathieu, Paris, Presses des mines, 2023, 342 p. Flux, n° 137(3), 92-94. <https://doi.org/10.3917/flux1.pr1.0011>.
- Belton Chevallier L, Perrin J (2024) Télétravail, travail à distance, in Aguiléra A et al., Dictionnaire : les mots du LVMT (en ligne).
- El Khawand M, Perrin J (2024) La desserte, in Aguiléra A et al., Dictionnaire : les mots du LVMT (en ligne)
- Participation à l'organisation d'une session spéciale : « Planifier la mobilité dans une trajectoire de transition socio-écologique », lors de la 6èmes RFTM (Rencontres Francophones Transport Mobilité), Bruxelles, Belgique, 26-28 juin 2024. Co-organisation avec F. Paulhiac Scherrer (Univ. du Québec), F. Scherrer (Univ. de Montréal) et M. Thébert (Univ. Eiffel).

• Doctorants labellisés

Benjamin COMBES (CGS et Paris Dauphine - DRM-ERMES)

- Congrès 9th International Conference on New Business Models: Sustainable business models for the digital, green and inclusive transition, New Business Models Conference, Jul 2024, San Sebastian, Spain : «The new models of sufficiency: from sufficient consumption to sufficient business models»
- Congrès RIODD 2024 : Imaginer, expérimenter et pérenniser la soutenabilité forte. Quelles institutions en Europe et au-delà ?, Réseau international de recherche sur les organisations et le développement durable (RIODD), Sep 2024, Bruxelles, Belgique : «Une généalogie en toute modération : la sobriété des philosophes aux managers»
- Publication scientifique dans *The Conversation France* : « L'entreprise régénératrice : vrai tournant RSE ou énième greenwashing ? »
- Communication dans congrès 9th International Conference on New Business Models: Sustainable business models for the digital, green and inclusive transition, New Business Models Conference, Jul 2024, San Sebastian, Spain : « The new models of sufficiency: from sufficient consumption to sufficient business models »
- Communication dans congrès RIODD 2024 : Imaginer, expérimenter et pérenniser la soutenabilité forte. Quelles institutions en Europe et au-delà ?, Réseau international de recherche sur les organisations et le développement durable (RIODD), Sep 2024, Bruxelles, Belgique : « Une généalogie en toute modération : la sobriété des philosophes aux managers »
- Participation à la SUMMER SCHOOL : « Éthique et Environnement » & « Data Mining », organisée par le Centre de Géosciences et L'ISIGE Mines Paris.
- Rédaction d'un rapport sur l'éthique environnementale dans le cadre de la Summer School.

Thibault GOESSEL (PERSEE)

- Conférence à l'AJCE
- Conférence IBPSA France
- Article de conférence à l'AJCE : «ACV et analyse multicritère en rénovation»
- Article de conférence pour IBPSA France : «Holistic and forward-looking methodology for multi-criteria optimization of building energy renovation»
- Poster pour IBPSA France
- Vidéo de 3mn résumant la thèse, réalisée lors de la journée des doctorants 2024 du CSTB
- Rapport d'avancement pour CSI de 2e année
- Finaliste au prix Pierre Laffitte : « Vers une nouvelle génération d'outil d'aide à la décision permettant d'accélérer la transition énergétique du secteur du bâtiment ».

Victor GUILLOT (CMA)

- Participation au congrès : International Energy Workshop (IEW) 2024, Jun 2024, Bonn, Germany
- Communication dans congrès : International Energy Workshop (IEW) 2024, Jun 2024, Bonn, Germany : «Feasibility of hydrogen trade between Europe and North Africa»

Gabriel KASMI (OIE)

- Article publié dans une revue à comité de lecture : Kasmi, G., Tournon, A., Blanc, P., Saint-Drenan, Y. -M., Fortin, M., & Dubus, L. (2024). Remote-Sensing-Based Estimation of Rooftop Photovoltaic Power Production Using Physical Conversion Models and Weather Data. *Energies*, 17(17), 4353. <https://doi.org/10.3390/en17174353>
- Prépublication : Kasmi, G., Brunetto, A., Fel, T., & Parekh, J. (2024). One Wave to Explain Them All: A Unifying Perspective on Post-hoc Explainability. arXiv preprint arXiv:2410.01482.
- Prépublication : Kasmi, G., Dubus, L., Drenan, Y. M. S., & Blanc, P. (2024). Space-scale Exploration of the Poor Reliability of Deep Learning Models: the Case of the Remote Sensing of Rooftop Photovoltaic Systems. arXiv preprint arXiv:2408.07828
- Articles de presse, communication auprès du grand public : «L'IA pour intégrer le photovoltaïque au réseau», *Le Journal du Photovoltaïque*, n°52 (juillet, août septembre 2024)
- Workshop : Kasmi, G., Dubus, L., Saint-Drenan, Y.-M., & Blanc, P. (2024). Leveraging artificial intelligence to improve the integration of photovoltaic energy into the grid. DOI: 10.23646/9nevy65



Axe 4 : La planète comme enjeu d'influence

• Doctorants labellisés

Charlène BARNET (CMA)

- Présentation du webinar des Doctorants : “Opportunities and impacts of the new global hydrogen economy for MENA countries: A prospective techno-economic analysis based on a bottom-up long-term optimization model, TIAM-FR”
- Rédaction d'un chapitre dans le livre : Chabouni, N., Barnet, C., Assoumou, E., Maïzi, N., Selosse, S. (2024). Align Algeria's Energy Diversification Strategies with Energy and Climate Sustainable Development Goals. In: Labriet, M., Espegren, K., Giannakidis, G., Ó Gallachóir, B. (eds) *Aligning the Energy Transition with the Sustainable Development Goals. Lecture Notes in Energy*, vol 101. Springer, Cham. https://doi-org.minesparis-psl.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-58897-6_13
- Podcast «Planète en transition» TTI.5 : «Se libérer des énergies fossiles : focus sur les enjeux de la région Moyen-Orient Afrique du Nord»

Marie CODET (CMA)

- 45th IAEE International Conference, Jun 2024, Istanbul, Turkey : «Materials and water needs in a decarbonizing world, a long-term analysis based on TIAM-FR»

- UNFCCC COP 29, Nov 2024, Baku, Azerbaijan ,Side event «Resources to achieve a just transition: levers and limits» : Critical materials for the energy transition
- 17th IAMC Annual Meeting 2024, Nov 2024, Seoul, South Korea , «Future metal needs under climate and water constraints, a long-term analysis based on TIAM-FR»
- Colloque annuel de l'AEE : Les enjeux stratégiques de l'énergie en 2024, Nov 2024, Paris, France. «Long term analysis of critical metal needs for the energy transition»
- Séminaire au LEMNA, Nov 2024, Nantes, France, «Assessment of metal needs for renewable power generation in carbon constrained scenarios, a long-term study based on TIAM-FR»
- World PhD students and postdoctoral researchers summit «meeting the challenges of climate change 2024», Nov 2024, Hamburg, Germany , «Circular economy and energy transition: long-term prospective analysis of global technological and political challenges, relating to materials markets and water»
- Papier de conférence : Marie Codet, Sandrine Selosse, Seungwoo Kang. Materials and water needs in a decarbonizing world, a long-term analysis based on TIAM-FR. 45th IAEE International Conference, Jun 2024, Istanbul, Turkey.
- FAEE PhD Student Workshop 2024, Nov 2024, Grenoble, France, «Long-term analysis of critical metal needs for the energy transition»
- Poster de conférence : Marie Codet, Seungwoo Kang, Fabrice Devaux, Sandrine Selosse. «Future metal needs under climate and water constraints, a long-term analysis based on TIAM-FR». 17th IAMC Annual Meeting 2024, Nov 2024, Seoul, South Korea.
- Poster de conférence : Marie Codet, Sandrine Selosse. «Long term analysis of critical metal needs for the energy transition». Colloque annuel de l'AEE : Les enjeux stratégiques de l'énergie en 2024, Nov 2024, Paris, France.
- Participation à «Ma thèse en 3 Minutes», dans le cadre du Workshop TTI.5.



Présentation d'un doctorant lors du deuxième Workshop TTI.5 - ©Frédérique Toulet

3.4 Création du certificat «Planète en Transition [PeTra]»

CERTIFICAT
PeTra - Planète en transition



PSL



The Transition Institute 1.5 et Mines Paris – PSL Executive Education ont lancé une nouvelle formation continue certifiante, le Certificat « Planète en transition [PeTra] ».

Cette formation traite la question de la transition écologique dans toutes ses composantes (atténuation, adaptation, préservation de la biodiversité et des écosystèmes, gestion des ressources, limites planétaires, enjeux sociaux, etc) en tenant compte de leurs interdépendances, des enjeux technologiques, économiques, sociaux, politiques et géopolitiques.

À l'aune de ces éléments, les participants exploreront le champ des solutions, leur déclinaison régionale à travers notamment des études de cas ciblées, des visites, des échanges avec des praticiens.

PeTra s'adresse à des cadres d'entreprises, des hauts fonctionnaires, des responsables RSE, des directeurs du développement durable.

Les objectifs de la formation

Ce cycle de formation est conçu pour être un lieu de débats, d'échanges, permettant ainsi l'émergence et l'animation d'un réseau de décideurs autour de la question de la transition écologique et de ses enjeux envisagés dans l'ensemble de ses dimensions.

➡ **Lancement de la première promotion en mars 2025.**

Il doit permettre aux publics visés par ce parcours de :

- **comprendre le concept de transition, ses objectifs et ses limites ;**
- **développer une vision globale des enjeux techniques, sociaux et géopolitiques inhérents aux changements climatiques ;**
- **concevoir une stratégie de déploiement de solutions avec une approche systémique.**

PeTra est animé par des académiques et experts venant d'institutions prestigieuses, du monde de l'entreprise, de la société civile et de l'ensemble de nos ministères :

DGEC – Direction générale de l'énergie et du climat EHESS • CIRED • CNRS • IPSL • CESAN • APIJ • CIDCE • Geneva Water Hub • Barreau de Paris • Université du Littoral Côte d'Opale • Schneider Electric • Plateforme Océan et Climat • Résilience Montagne, etc.

3.5 Summer School



La deuxième édition de notre **Summer School** a été organisée conjointement par l'ISIGE Mines Paris-PSL, GÉOSCIENCES Mines Paris - PSL et The Transition Institute 1.5, du 23 au 25 septembre 2024.

Cette formation «Éthique et environnement» et «Data mining» a permis à trois doctorants de The Transition Institute 1.5 de renforcer leurs connaissances sur ces thématiques-clés. Mariam Taki et Zeinad Mortada (Géosciences), Benjamin Combes (Mines Paris - CGS et Paris Dauphine - DRM-ERMES) ont ainsi rejoint d'autres étudiants sur les deux campus de Mines Paris - PSL à Fontainebleau et Paris.



Photos © Sabrina Ramessur

4. Rétrospective de l'année

4.1 Agenda de l'année 2024

JANVIER

2 **Note d'éclairage #11**
« Ecologiser l'agriculture intensive : le label HVE » ([lien](#))

19 **Webinaire TTI.5 #8**
« Retour sur la matérialité de la transition » ([lien](#))

31 **Rencontre ACHEID et intervention de Nadia MAÏZI** : « Comment nourrir la planète ? Enjeux sécuritaires de l'agriculture »

FÉVRIER

2 **Note d'éclairage #12**
« Neutralité carbone : quelle solution pour les solutions fondées sur la nature ? » ([lien](#))

27 **Conférence** par le Patronage laïque Jules Vallès, Paris : Intervention de Nadia MAÏZI « Décrypter le Futur : enjeux d'une prospective climatique »

MARS

14 **Intervention de Nadia MAÏZI** : Table Ronde COP28, Université Côte d'Azur

21 **Webinaire TTI.5 #9**
« Lorsque les enjeux du climat bousculent les entreprises : modèles, gouvernance et indicateurs » ([lien](#))

AVRIL

9 **Note d'éclairage #13**
« Beyond GDP : Bhutan's Gross National Happiness Index in the Degrowth Paradigm » ([lien](#))

MAI

22 **Participation de Nadia MAÏZI** à la journée « Les entreprises face à la transition environnementale » organisée par l'Ordre des Avocats de Paris, à la table-ronde « Changement climatique et entreprises »

24 **Note d'éclairage #14** « Cracking the consumption paradigm: reinterpreting necessity amidst the ecological transition » ([lien](#))

25 **Interview de Nadia MAÏZI sur TV5 Monde** ([lien](#))

28 **2nd Workshop TTI.5** ([lien](#))
2nd Prix TTI.5 de la controverse environnementale, ma thèse en 3 minutes chrono !

29 **2nd Forum TTI.5 « Regards Africains sur les Changements Climatiques »** ([lien](#))

JUIN

3 **2^{de} édition du Séminaire Transition**
« Guider l'action publique : les coûts d'abattement et la robustesse des scénarios de transition », par la Direction générale du Trésor et la Direction générale de l'énergie et du climat : Intervention de Nadia Maïzi ([table ronde en ligne](#))

7 **Conférence** de l'association Les Amis de la Fondation Sophia Antipolis « 10 ans pour sauver l'humanité ? », Intervention de Nadia MAÏZI : « Climat et Océans », campus Mines Paris - PSL Pierre Laffitte à Sophia Antipolis ([lien](#))

AOÛT

27 **Podcast TTI.5 « Planète en transition », Episode #1** : « Soutien public à la rénovation énergétique : un pari gagnant ? ». Dialogue entre Nadia MAÏZI et Guillaume WALD (doctorant TTI.5 au CERN Mines Paris - PSL) ([lien](#))

SEPTEMBRE

12 **Webinaire TTI.5 #10**
« Décrypter les scénarios du GIEC : enjeux d'une prospective climatique » ([lien](#))

23-25 Participation de TTI.5 à l'organisation de la **Summer School** « Ethique et environnement » et « Data Mining », formation assurée par les centres de recherche ISIGE Mines Paris - PSL et GÉOSCIENCES Mines Paris - PSL

24 **Podcast «Planète en transition», Episode #2** - « Se libérer des énergies fossiles, focus sur les enjeux de la région Moyen-Orient et Afrique du Nord ». Dialogue entre Nadia MAÏZI et Charlène BARNET, doctorante TTI.5 en deuxième année au CMA Mines Paris - PSL ([lien](#))

24-31 **Exposition autour des Forum et Workshop TTI.5 2024 créée par Corinne Matarasso** (Site de Sophia Antipolis et Fête de la Science 2024 dans le 06)

29 **Working paper #2**
« An overview of aerogels as advanced thermal insulation materials » ([lien](#))

OCTOBRE

23 **Podcast TTI.5 « Planète en transition », Episode #3** - « L'atténuation du changement climatique à l'épreuve de l'équité ». Dialogue entre Nadia Maïzi et Charlotte Demonsant, doctorante au CGS Mines Paris -PSL ([lien](#))

NOVEMBRE

4 **Participation de Nadia MAÏZI au lancement de la concertation sur la stratégie nationale bas-carbone et la programmation pluriannuelle de l'énergie** ([lien](#))

14 Participation de Nadia MAÏZI et Marie CODET, docteure labellisée TTI.5 au Side Event COP29 Baku, Azerbaijan (UNFCCC Pavillon). « Resources to achieve a just transition : levers and limits ».



25 Working paper #3 « Leveraging Artificial Intelligence to Improve the Integration of Photovoltaic Energy into the Grid » ([lien](#))



28 Podcast TTI.5 « Planète en transition », Episode #4 : « Plus d'énergies renouvelables : quel rôle pour le citoyen ? » Dialogue entre Nadia MAÏZI et Clément CABOT, doctorant au CERNA à Mines Paris - PSL ([lien](#))



DÉCEMBRE

3 Publication du working paper #3 « Leveraging Artificial Intelligence to Improve the Integration of Photovoltaic Energy into the Grid » ([lien](#))



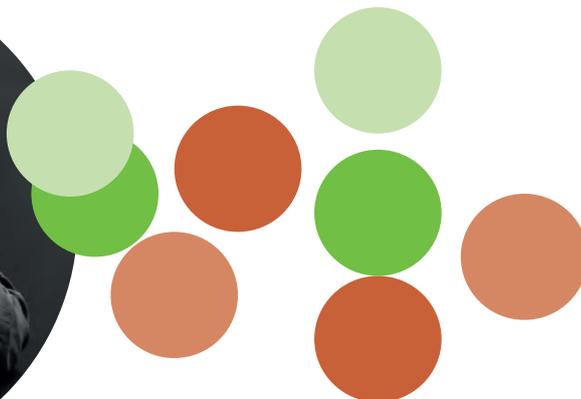
11 Webinaire TTI.5 #11 « Les promesses du biosourcé : modélisation économique, chimie des matériaux et biotechnologie » ([lien](#))



Légende

- Notes d'éclairage et working papers
- Webinaires
- Rencontres, conférences
- Workshop et Forum, événements phares de l'Institut
- Podcast «Planète en transition»

4.2 Retour sur le 2nd Forum TTI.5 : « Regards africains sur les changements climatiques » - 29 mai 2024



INSPIRATIONS AFRICAINES

Pr. Nadia Maïzi

Directrice de TTI.5 et du CMA Mines Paris - PSL
Co-auteure du 6^{ème} rapport du GIEC

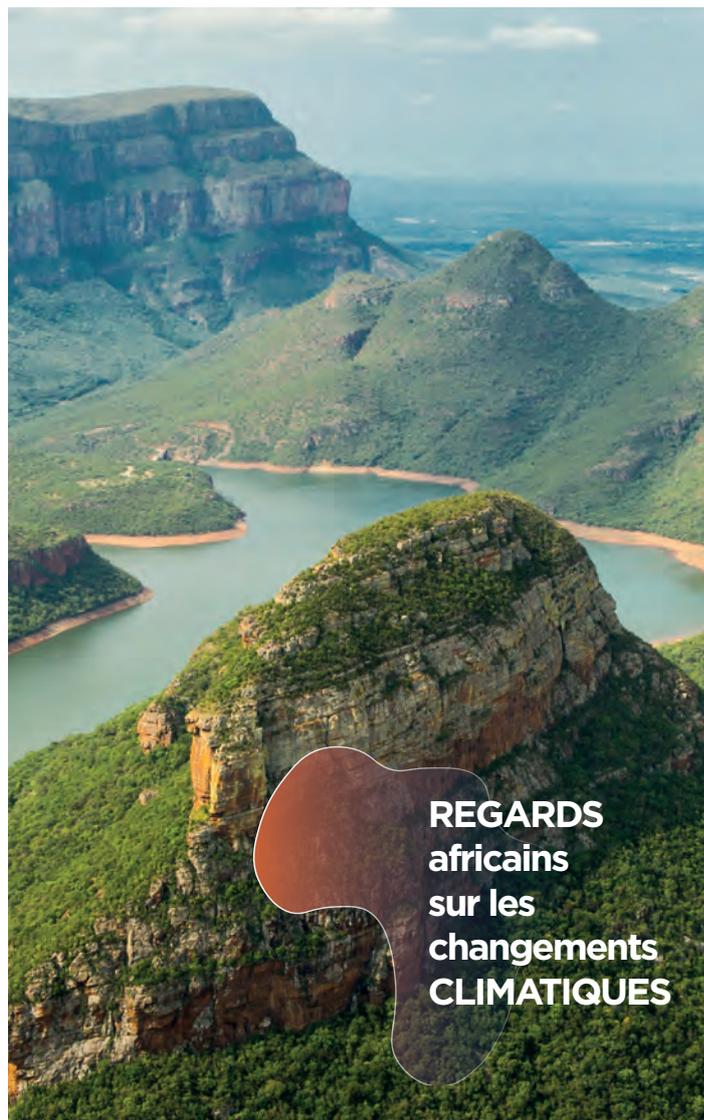
A travers le prisme africain, cette intervention illustre comment un changement de perspective régionale réinterroge la nature d'une transition qui répond aux enjeux climatiques à l'échelle mondiale.

Dans cette perspective, il s'agit de revisiter la révolution industrielle sous l'angle des pays qui en ont subi les conséquences, plutôt que selon ceux qui l'ont initiée à partir de l'exploitation massive du charbon.

La discussion porte également sur la perception environnementale de l'Afrique, popularisée par un imaginaire collectif subjectif, qui n'a pas été neutre dans la façon d'organiser les aménagements de ce continent et l'exploitation de ses ressources.

Enfin, on récolte les sources d'inspiration, nombreuses dans toute l'Afrique, qui pourraient connaître des déclinaisons vertueuses au-delà de ce continent, en particulier en matière d'adaptation.

Les planches Workshop et Forum (pp. 30-40) ont été réalisées par **Corinne Matarasso**, Chargée de communication du Campus Pierre Laffitte de Mines Paris - PSL, dans le cadre de l'exposition présentée en 2024 sur le Campus Pierre Laffitte de Mines Paris - PSL et à l'occasion de la Fête de la Science 2024. Un certain nombre de modifications y ont été apportées dans le but de les adapter au format de ce rapport annuel.



**REGARDS
africains
sur les
changements
CLIMATIQUES**

Temps 1

ATTÉNUATION



Dr. Jesse Burton

Chercheuse à l'université du Cap, Afrique du Sud

Perspectives sur la transition du charbon en Afrique du Sud

L'Afrique du Sud est le pays le plus dépendant du charbon parmi les pays du G20, avec des retombées économiques locales et des emplois dans la province de Mpumalanga fortement concentrés dans la chaîne de valeur du charbon.

Mais le pays est également confronté à des niveaux très élevés de pauvreté et d'inégalité, ainsi qu'à une crise de l'approvisionnement en électricité due à une flotte de centrales au charbon peu performante et impactée par un sous-investissement dans de nouvelles capacités de réseau et le déploiement des énergies renouvelables.

De nouvelles modalités telles que le partenariat pour une transition énergétique juste, une première mondiale, accompagnées d'interventions de transition juste à différentes échelles, démontrent à la fois l'ampleur du défi, en particulier en termes de besoins financiers, et offrent de nouvelles perspectives sur la manière d'aborder les transformations climatiques de l'ensemble de la société dans les pays en développement.

Dr. Rabah Sellami

Directeur Hydrogène et énergies alternatives au CERFE

Enjeux de la transition énergétique algérienne et le rôle de l'hydrogène en tant qu'élément accélérateur

«Mon intervention porte sur les enjeux de la transition énergétique en Algérie et le rôle que l'hydrogène devra jouer pour l'accélérer.

Ainsi, je commencerai par la présentation de la situation énergétique actuelle du pays en mettant l'accent sur les défis auxquelles l'Algérie devra faire face, à moyen et à long termes toute en présentant les trois piliers sur lesquels le pays assoit sa transition énergétique.

Je présente également la stratégie nationale de développement de l'hydrogène propre et renouvelable. J'évoque enfin, les principaux défis et obstacles que le pays devra surmonter pour lancer la filière d'hydrogène et réussir ainsi sa transition énergétique».





Dr. Fadhel Kaboub

Président du Global Institute for sustainable prosperity et Professeur associé à la Denison University

Une vision panafricaine pour une transition juste : nous ne pouvons pas décarboner un système qui n'a pas été décolonisé

L'Afrique souffre de trois déficits structurels post-coloniaux majeurs : les déficits alimentaires, les déficits énergétiques et les déficits de valeur ajoutée manufacturière. Ces déficits structurels ont des racines coloniales qui se sont aggravées au cours de la période postcoloniale.

Malheureusement, la plupart des discours politiques se concentrent sur les symptômes de ces problèmes (à savoir la crise de la dette extérieure) plutôt que sur leurs causes profondes.

Cette présentation a démontré que les solutions de développement et d'action climatique qui défont l'héritage colonial de l'Afrique sont en fait des politiques complémentaires qui permettront au continent de basculer dans une ère d'énergie propre, de justice, d'équité et de prospérité durable pour tous.

Par conséquent, le processus de décarbonisation du continent est directement lié au processus de décolonisation structurelle.



Mohamadou Fadel Diop

Conseiller Recherche, politiques et innovation, Oxfam Sénégal

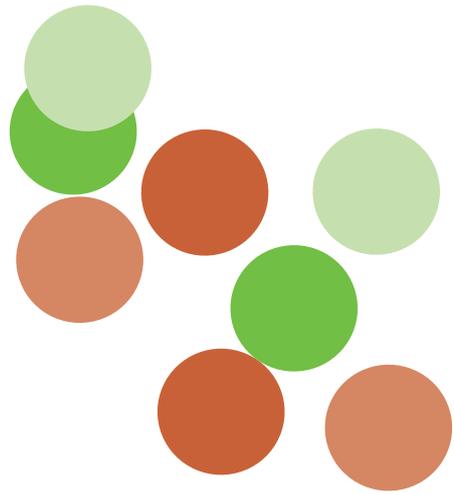
Atténuation du changement climatique et développement des pays pauvres : débusquer les chimères d'une transition verte pour ne pas perpétuer l'injustice et les inégalités

L'Afrique, comme le monde entier, est confrontée à de multiples crises dont celle climatique.

Cependant, ces défis ont été imposés au continent par le colonialisme, le néocolonialisme et l'impérialisme. En conséquence, l'Afrique se trouve mal équipée pour faire face à ces problèmes et dépend fortement du soutien financier des pays développés.

L'évolution de l'exploitation des énergies fossiles et renouvelables ainsi que la ruée vers les matières premières énergétiques suscitent des craintes à propos du risque que la transition énergétique en Afrique ouvre la porte aux inégalités, à la pauvreté et aux conflits.

Cette présentation explorera les pistes pour que les politiques d'atténuation du changement climatique puissent offrir aux pays du Sahel et aux communautés vulnérables une opportunité de vivre dans la dignité dans un monde écologique.



Marcel Mrejen

Réalisateur et artiste plasticien

Présentation du court-métrage «Memories of an unborn sun» et discussion avec le réalisateur

Depuis 2006, des milliers de travailleurs chinois arrivent chaque jour en Algérie pour construire de nouvelles villes à travers le pays.

Le refus des entreprises de construction de s'occuper des morts a entraîné des rumeurs sur la disparition des corps des travailleurs, remettant ainsi en question la mémoire collective de ces travailleurs effacés de l'histoire.

Écrit sur des témoignages, des rumeurs et des fausses informations, le court-métrage de fiction 'Memories of an Unborn Sun' interroge les architectures de l'énergie façonnant le territoire algérien depuis son histoire coloniale jusqu'à l'essor de l'extractivisme chinois, soulignant la multiplicité de la réalité dans une ère post-vérité.



Dr. Harouna Kinda

Chercheur à l'université Clermont Auvergne

Gouvernance des industries extractives face aux enjeux des changements climatiques en Afrique : à quels impacts s'attendre ?

Avec 30 % des réserves mondiales de pétrole, de gaz et de minerais, l'Afrique connaît un boom du secteur extractif depuis le début des années 2000, sous l'effet de la forte hausse des prix des matières premières, de l'augmentation des investissements et de l'explosion de la demande de ressources minérales des pays émergents.

Les ressources naturelles représentent plus de la moitié des exportations de nombreux pays d'Afrique subsaharienne. Outre les enjeux sociaux et économiques, l'exploitation des ressources naturelles exerce une pression énorme sur l'environnement (déforestation, gaz à effet de serre) contribuant ainsi au réchauffement climatique.

Cette présentation abordera le contexte économique et social du secteur extractif, les défis environnementaux, les récents développements en fiscalité minière, et le rôle de la gouvernance dans l'atténuation des impacts environnementaux.



Dr. Aïda Diongue-Niang
Vice présidente du groupe de travail I, GIEC

Changements observés et futurs, impacts et risques en Afrique

Le changement climatique a déjà affecté toutes les régions du monde, y compris l'Afrique. Compte-tenu du niveau de vulnérabilité et de l'exposition du continent, les impacts et les pertes et dommages s'y font ressentir de manière drastique.

Cependant, l'Afrique souffre de manque de données permettant de mieux caractériser les changements observés et futurs et leurs impacts.

Les risques futurs, notamment en Afrique, dépendent des décisions prises durant cette décennie.



Dr. Zacharia Tiemtore
Président de l'Institut supérieur de sécurité humaine, ancien ministre en charge de l'Alphabétisation au Burkina Faso

Penser le développement en lien avec le vivant : quels apports des philosophies africaines ?

Dans les pays africains, le changement climatique est un sujet diversement apprécié et traité. Des spécialistes et praticiens travaillent à mieux comprendre le phénomène, à atténuer ses effets et à trouver comment s'adapter à la réalité nouvelle.

Les populations, quant à elles, dans leur grande majorité font face à l'appauvrissement des sols, à l'assèchement des cours d'eau, aux pluies irrégulières, aux fortes chaleurs.

Entre pragmatisme, scepticisme et fatalisme, elles s'interrogent sur un avenir où leurs aspirations légitimes au développement semblent compromises.

Quelle contribution possible des sagesses, des traditions ou des philosophies des territoires africains dans la réflexion et la quête de solutions aux changements climatiques ?



Dr. Hamado Sawadogo

Chercheur agronome à l'Institut de l'Environnement
et de recherches agricoles du Burkina Faso

Pratiques d'adaptation aux changements climatiques par les producteurs au Sahel : défis et perspectives

Au Sahel, la dégradation poussée des sols a conduit à une baisse importante de la production agro sylvo pastorale et à une chute des revenus des populations.

Des pratiques d'adaptation aux changements climatiques telles que l'utilisation de la fumure organique, le zaï, les cordons pierreux, la régénération naturelle assistée des arbres ont été développées par les producteurs. Celles-ci permettent de récupérer les terres dégradées et de sécuriser la production.

Un soutien en matériels et une sécurisation foncière sont nécessaires pour permettre aux paysans de protéger et valoriser leur environnement.



Source photos : présentation
SAWADOGO Hamado



Photos Forum TTI.5 / mai 2024
©Frédérique Toulet
Photos génériques Unsplash.com /
Pixabay

Temps 3

NÉGOCIATIONS ET FINANCEMENT



Eric David

**Chef du service économique
de la Représentation française auprès
de l'Organisation de coopération et de
développement économique (OCDE)**

Le Pacte de Paris pour les peuples et la planète

Le «Pacte de Paris pour les peuples et la planète,» discuté lors d'une conférence en juin 2023, vise à équilibrer la lutte contre la pauvreté et le changement climatique, en tenant compte des besoins spécifiques de chaque pays. Avec l'aide publique au développement atteignant un record de 200 milliards de dollars en 2023, un financement annuel de 2000 à 3000 milliards est nécessaire pour atteindre les objectifs mondiaux, y compris la transition climatique et la reconstruction de l'Ukraine.

Le Pacte fixe quatre objectifs principaux : l'intégration des luttes contre la pauvreté et le changement climatique, l'adoption de stratégies nationales pour atteindre ces objectifs, un choc de financement public pour soutenir les économies vulnérables, et l'activation de financements privés pour les enjeux planétaires. Le texte encourage la suppression des subventions aux énergies fossiles, le respect des engagements de financement climatique, la réforme des banques multilatérales de développement, et l'intégration des vulnérabilités climatiques dans les prêts.

Enfin, il appelle à une meilleure gouvernance internationale et à la réduction des risques pour les investisseurs dans les pays en développement, en ajustant les normes financières et en réévaluant les critères de risque géographique, notamment en Afrique subsaharienne.



Pr. Nadia Maïzi

**Directrice de TTI.5 et du CMA Mines Paris - PSL
Co-auteure du 6^{ème} rapport du GIEC**

Dr. Aïda Diongue-Niang

Vice présidente du groupe de travail I, GIEC

Dr. Edi Assoumou

Chercheur au CMA Mines Paris-PSL

Les enjeux des négociations internationales

La table ronde a exploré l'équilibre des pouvoirs lors des négociations climatiques internationales (COP), le rôle crucial des chercheurs africains au sein du GIEC, et l'importance de la justice climatique. Malgré les défis, l'Afrique est perçue comme un acteur optimiste et déterminé dans la lutte contre le changement climatique.

Dr Aïda Diongue-Niang a mis en lumière le rôle fondamental du GIEC, qui depuis 1988, fournit une base scientifique clé pour les négociations climatiques. Ses rapports influencent significativement les discussions et accords, bien que la publication de ces rapports puisse susciter des tensions dues aux intérêts divergents des pays.

Edi Assoumou a souligné l'importance croissante de l'Afrique dans les COP, malgré sa faible contribution aux émissions globales. L'Afrique subit les impacts du changement climatique et se concentre sur le développement des énergies renouvelables, bien que le financement demeure un obstacle. Il a également abordé l'impact des relations de pouvoir historiques sur les négociations actuelles, tout en affirmant le rôle crucial de l'Afrique dans le développement mondial.

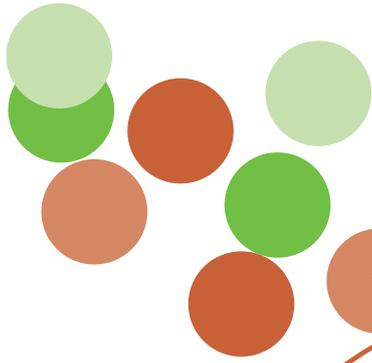


TABLE RONDE

Perspectives
de la recherche
africaine sur
le climat



Pr. Youba Sokona
Ancien vice-président du GIEC



Marie-Thérèse Daba Sene
Sociologue et représentante de One planet Fellowship

Les intervenants échangent sur le déploiement de deux initiatives visant à promouvoir la recherche africaine sur le climat, et sur les défis rencontrés. Marie-Thérèse Daba Sene évoque le manque de financement et de données en nous introduisant une note de plaidoyer du programme One Planet Fellowship. Youba Sokona, quant à lui, présente la création d'un nouvel Institut, l'« AISESA » lancé en 2023. Porté par 160 personnes dans le monde entier, il vise la création d'une plateforme qui facilitera l'engagement des jeunes chercheurs et fera le lien entre la politique, la pratique et la réflexion.

Mont Kénya



**REGARDS
africains
sur les
changements
CLIMATIQUES**



4.3 Retour sur le 2nd Workshop TTI.5 - 30 mai 2024



Le Workshop TTI.5 est un événement annuel réservé aux personnels et élèves de Mines Paris-PSL.

C'est une occasion unique de partager et explorer les travaux de recherche de l'école en lien avec les enjeux liés à la transition en terme d'atténuation, d'adaptation et de biodiversité.

TTI.5 Point d'étape et discussions collectives sur les perspectives

Nadia Maïzi

Directrice de TTI.5 et du CMA Mines Paris - PSL

« Ce rendez-vous d'une journée a pour objet d'échanger librement autour de TTI.5 et de mieux comprendre la variété et l'excellence des travaux qui permettent d'alimenter cette initiative. Il est séquencé en plusieurs temps.

Je propose d'abord un point d'étape où le bilan des travaux (passés et à venir) de TTI.5 est discuté.

Puis, les doctorants présentent leur thèse dans un exercice trois minutes chrono. Ensuite, les axes programmatiques de TTI.5 font l'objet de discussions autour de tables rondes.

Enfin, les élèves du cycle Ingénieur civil s'adonnent à une compétition autour de leurs travaux de controverses. »



Ma thèse en 3 minutes chrono !

Les doctorants sélectionnés

Owen PALMER (PERSEE)
Fabien BEZ (GEOSCIENCES)
Yacine ALIMOU (CMA)
Peter ZGHAIB (CEEP)
Roblex NANA TCHAKOUTÉ (CRI/CMM)
Marie CODET (CMA)
Elliott DEGOUILLES (MAT)
Clémence PINOT (MAT)
Sylvain DUCOTTET (CEMEF)
Émilienne LARDY (CGS)
Victor CABIATIVA PICO
(GEOSCIENCES)

TTI.5 offre l'opportunité à **11 doctorants** de présenter leur sujet de thèse en lien avec les enjeux climatiques liés à la transition.

Un exercice, qui n'est pas un concours mais une **véritable plateforme d'échanges**.

Les doctorants sélectionnés ont bénéficié d'une **formation en diffusion scientifique**.



© Frédérique Toulet



2^{ème} édition du Prix TTI.5 de la Controverse Environnementale

Ce prix récompense la meilleure analyse
d'une controverse environnementale
parmi les travaux réalisés par les élèves
du Cycle ingénieur civil
de Mines Paris-PSL dans le cadre du cours
Description de controverse encadré par
Madeleine AKRICH.

Le Prix est remis par Matthieu Mazière,
directeur des Etudes du cycle IC.

les controverses nominées

Vivre avec le loup ? Une cohabitation est-elle possible ?

Marie-Louise COMMUNAL

Aude GOUNELLE

Adrien MIGNOT

Gagnants du Prix 2024 !

Autoroute A69 : quand la cause environnementale nationale s'invite au développement local.

Alexa BRUNEAUX

Pauline DELARUE

Matthieu ROYET de VERICOURT

Gabrielle VERNET

La réutilisation des eaux usées trai- tées (REUT) : quelle place donner à la REUT dans un contexte de stress hydrique croissant ?

Elise LEI

Raphaël GARDIES

Quentin SCHMUTZ



© Andrew Ly - Unsplash
Nagy Szabi - Unsplash
Kerem Karaarslan - Unsplash

4.4 Le podcast «Planète en transition»



Depuis août 2024, The Transition Institute 1.5 produit son propre podcast, “Planète en transition”.

Ce rendez-vous audio propose un éclairage nouveau et accessible sur les défis de notre époque, en donnant la parole à des expertes et experts issus de diverses disciplines.

Une approche unique portée par des voix engagées

Imaginé par la Professeure Nadia Maïzi, directrice de TTI.5 et co-auteure du 6^{ème} rapport du GIEC, ce podcast met en avant des discussions passionnantes avec des doctorantes et doctorants de Mines Paris - PSL.

Ces chercheuses et chercheurs explorent les questions liées à la transition avec une approche claire et originale. C’est aussi une opportunité pour eux de partager leurs travaux et leurs réflexions au-delà du cadre académique, en les rendant accessibles à un large public.

Chaque épisode traite d’une thématique spécifique, en lien avec les recherches des doctorants.

Tous les épisodes sont disponibles sur cette plateforme : <https://smartlink.ausha.co/planete-en-transition>

De nouveaux épisodes sont en préparation pour 2025 !

Épisode 1

« Soutien public à la rénovation énergétique : un pari gagnant ? », avec Guillaume Wald, doctorant au CERNA et au CEEP. Un épisode qui explore les politiques publiques pour accélérer la transition énergétique.

Épisode 2

« Se libérer des énergies fossiles – focus sur les enjeux de la région Moyen-Orient et Afrique du Nord », avec Charlène Barnett, doctorante au CMA. Un regard sur les opportunités et les obstacles à l’échelle internationale.

Épisode 3

« L’atténuation du changement climatique à l’épreuve de l’équité », avec Charlotte Demonsant, doctorante au CGS. Un épisode qui aborde les dimensions sociales et éthiques de la lutte contre le changement climatique.

Épisode 4

« Plus d’énergies renouvelables, quel rôle pour le citoyen ? », avec Clément Cabot, doctorant au CERNA. Un éclairage sur l’engagement citoyen dans la transition énergétique.

TÉMOIGNAGES AUTOUR DU PODCAST



Charlène Barnet, doctorante au CMA, a dialogué avec Nadia Maïzi dans l'épisode « Se libérer des énergies fossiles – focus Moyen-Orient et Afrique du Nord »

« Cette expérience a été extrêmement enrichissante.

Elle m'a permis de structurer mes idées sur un sujet complexe, d'affiner ma manière de communiquer sur des enjeux cruciaux, et d'explorer un format de vulgarisation scientifique plutôt à la mode qui demande à la fois rigueur et créativité.

Cela m'a demandé un travail important en amont. Même si le format est conçu pour paraître naturel, le caractère permanent d'un enregistrement pousse à se préparer rigoureusement. J'ai consacré beaucoup de temps à rassembler des données précises, trouver des exemples parlants et m'assurer que mes propos étaient à la fois justes et clairs pour un public varié.

Cet exercice a en réalité été à la fois difficile et enrichissant. Le défi principal résidait dans le fait de formuler des idées complexes de manière accessible, tout en évitant les erreurs ou les approximations (erreurs que l'on fait plus facilement à l'oral comparé à un écrit que l'on a le temps de relire plusieurs fois).

Cela n'a pas été l'exercice le plus confortable pour moi, mais cette expérience m'a permis de développer des compétences précieuses en communication.

J'avais déjà eu l'occasion de contribuer à la préparation d'un podcast dans le cadre de mes fonctions à l'IFPEN, notamment sur le thème du cobalt dans la transition énergétique ([Podcast IFPEN](#)).

Cependant, c'était ma première fois en tant qu'intervenant principal, ce qui a été une expérience très différente et formatrice. »



Clément Cabot, doctorant au CERNA doctorante au CMA, a participé à l'épisode « Plus d'énergies renouvelables, quel rôle pour le citoyen ? »

« Cette expérience m'a tout d'abord permis de m'exercer à un exercice de communication nouveau pour moi, à savoir le podcast. C'était une belle occasion de découvrir les coulisses de la production d'un tel medium que j'apprécie beaucoup.

Ensuite, j'ai pu valoriser une nouvelle fois ma recherche, à une audience peut-être moins académique qu'habituellement.

La discussion en amont avec Nadia (deux créneaux il me semble) m'a permis de bien structurer mes idées et la discussion. La préparation est essentielle pour être clair et pertinent, mais aussi confiant lors de l'enregistrement, notamment sur les arguments et les résultats avancés.

En fait, l'exercice a été plutôt agréable. C'était stimulant de discuter dans ce cadre, et de s'essayer à la vulgarisation. Je n'ai pas trouvé cela difficile, cela dépend bien sûr des appétences de chacun à prendre la parole «publiquement».

Même si j'avais déjà eu l'occasion de participer à des conférences, y compris avec une audience large, le podcast était vraiment une première pour moi. »



4.5 Les webinaires publics TTI.5

The Transition Institute 1.5 organise, tous les deux mois environ, des webinaires pour discuter des enjeux de la transition autour de différentes thématiques et à travers le prisme des recherches pluridisciplinaires menées dans les centres de recherche de Mines Paris – PSL. En 2024, quatre webinaires ont ainsi été proposés.



WEBINAIRE TTI.5
SÉANCE 8 : « RETOUR SUR LA MATÉRIALITÉ DE LA TRANSITION »

BRICE LAURENT
Centre de recherche de transition - CSI Mines Paris - PSL

FARAH BENRAMDANE
Laboratoire de recherche CEMEF - Université Bordeaux-Montaigne

DAMIEN GOETZ
GÉOSCIENCES Mines Paris - PSL

VENDREDI 19 JANVIER 2024
DE 13H30 À 15H30 (EN LIGNE)

L'extraction, l'importation et la transformation des matières premières jouent un rôle crucial dans la transition. Les technologies émergentes telles que les énergies renouvelables, les véhicules électriques et les dispositifs de stockage d'énergie dépendent de métaux dits rares, comme le lithium et le cobalt. Cependant, l'utilisation de ces ressources peut entraîner des problèmes environnementaux, des conflits liés aux mines, des conditions de travail difficiles et des inégalités dans l'accès aux avantages de la transition. L'équilibre géopolitique se retrouve bouleversé. Ainsi, la gestion responsable des matières premières devient un enjeu crucial pour assurer une transition écologiquement viable et socialement équitable.

Avec **Farah BENRAMDANE**, doctorante à l'Université Bordeaux-Montaigne, **Brice LAURENT**, chercheur au CSI Mines Paris – PSL et **Damien GOETZ**, enseignant-chercheur au centre GEOSCIENCES Mines Paris – PSL



WEBINAIRE TTI.5
Séance 9 : « Lorsque les enjeux du climat bousculent les entreprises : modèles, gouvernance et indicateurs »

Kevin LEVILLAIN
CGS Mines Paris - PSL

Franck PIGEONNEAU
CEMEF Mines Paris - PSL

Alexandre RAMBAUD
AgroParisTech - CIRED

Jeudi 21 mars 2024
De 13h30 à 15h30 (en ligne)

Les entreprises doivent se réinventer pour répondre aux défis du changement climatique, l'objectif de ce webinaire sera d'explorer des pistes concrètes pour y arriver. Nos experts invités questionneront les modèles de production, les structures de gouvernance, ainsi que les visions stratégiques et le rapport à l'environnement par le biais des indicateurs et de la comptabilité.

Avec **Kevin LEVILLAIN**, Enseignant-Chercheur au CGS Mines Paris – PSL, **Franck PIGEONNEAU**, Enseignant-Chercheur au CEMEF Mines Paris – PSL, **Alexandre RAMBAUD**, Maître de conférences à AgroParisTech-CIRED



WEBINAIRE TTI.5
SÉANCE 10 : « DÉCRYPTER LES SCÉNARIOS DU GIEC : ENJEUX D'UNE PROSPECTIVE CLIMATIQUE »

BÉATRICE COINTE
CSI Mines Paris - PSL - CNRS

NADIA MAÏZI
The Transition Institute 1.5 - CMA Mines Paris - PSL

PAUL CHAMPEY
Banque de France

CLÉMENT PAYEROLS
Banque de France

JEUDI 12 SEPTEMBRE 2024
DE 13H30 À 15H30 (EN LIGNE)

Le 6e rapport d'évaluation du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) été publié entre 2021 et 2023. Ces rapports font un état des lieux des connaissances scientifiques relatives au changement climatique, Ils fournissent un état des lieux de la physique du climat (Groupe de travail I) des impacts et de l'adaptation (groupe de travail II) et des solutions d'atténuation (groupe de travail III). Ils s'appuient, entre autres, sur la compilation et le traitement de plusieurs centaines de scénarios produits par des communautés scientifiques du monde entier. Comprendre le processus de leur construction, l'usage de ces scénarios et leurs limites est crucial pour leur interprétation.

Avec **Béatrice COINTE**, chargée de recherche au CNRS et chercheure au CSI Mines Paris – PSL, lauréate de la médaille de bronze du CNRS 2024, **Paul CHAMPEY** et **Clément PAYEROLS**, Banque de France



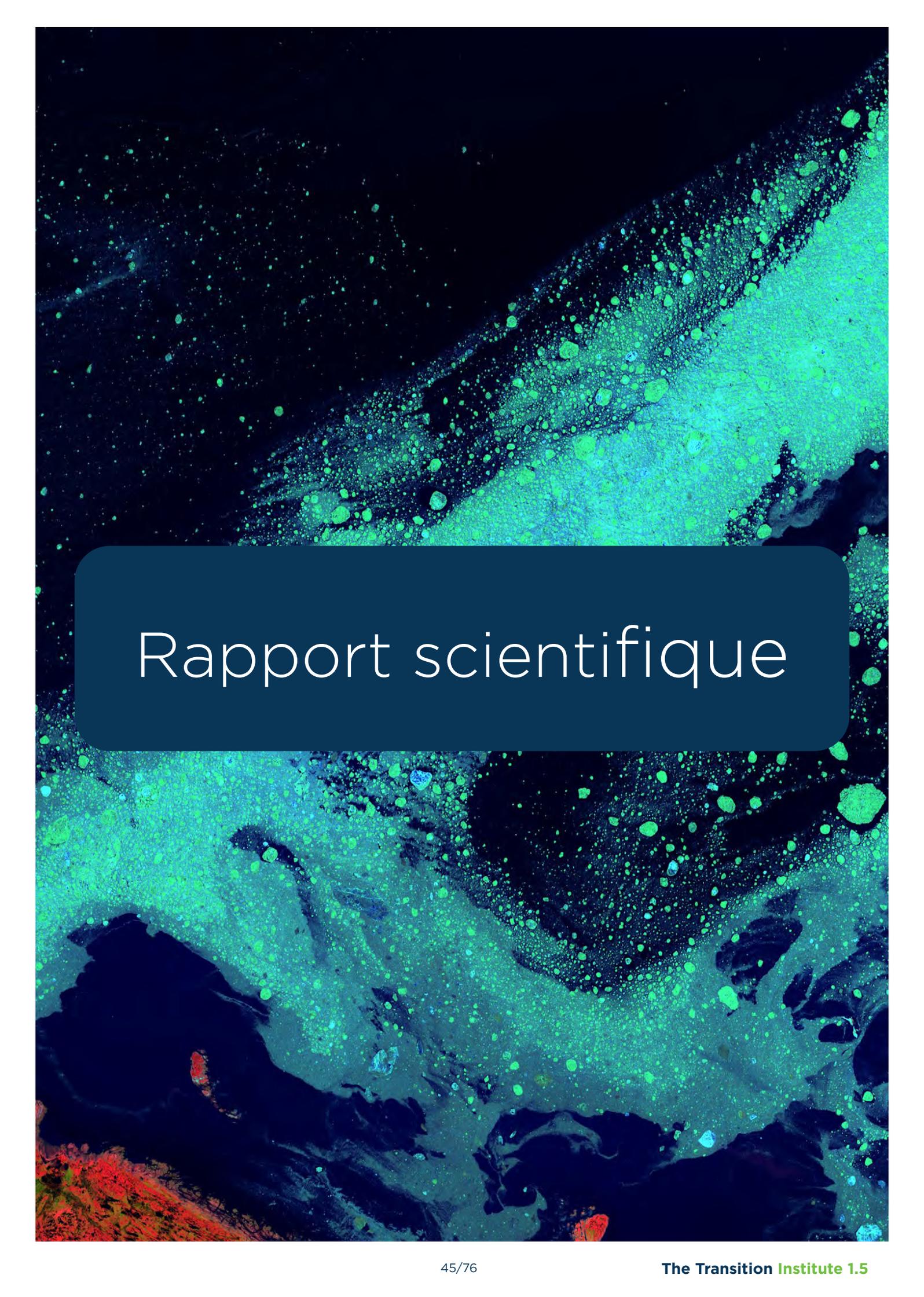
WEBINAIRE TTI.5

Séance 11
« Les promesses du biosourcé : modélisation économique, matériaux et biotechnologie »

MERCREDI 11 DECEMBRE 2024
13h30 - 15h30 (en ligne)

Cette séance a permis d'apporter un nouvel éclairage sur les promesses des filières biosourcées. Nous avons exploré la modélisation du secteur forestier, l'utilisation des matériaux avec les polymères biosourcés, ainsi qu'un projet de recherche en biotechnologie sur les protéines d'organismes unicellulaires comme voie alternative aux protéines d'origine animale et végétale.

Avec **Thomas BEAUSSIER**, ISIGE Mines Paris – PSL, **Tatiana BUDTOVA**, CEMEF Mines Paris – PSL, **Nathalie GORRET**, INSA Toulouse

The background of the page is an abstract, high-contrast image. It features a dark, almost black, field filled with numerous small, bright green and cyan particles. These particles are scattered across the frame, with some appearing as larger, more distinct spots and others as a fine, misty spray. The overall effect is reminiscent of a microscopic view of a complex material or a nebula in space. The particles are most densely packed in the upper right and lower right quadrants, with some smaller clusters in the lower left. The colors range from a deep, dark green to a bright, almost white cyan, creating a rich, textured appearance.

Rapport scientifique

Le mot du DIRECTEUR de la RECHERCHE

L'année écoulée marque une nouvelle étape dans le développement et le rayonnement de The Transition Institute 1.5. Grâce à une structuration interne consolidée et une dynamique d'échanges prolifique, l'Institut fédère une communauté interdisciplinaire engagée, impliquant chercheurs, doctorants, élèves et partenaires.

La diversité et la richesse des projets soutenus témoignent de la capacité de TTI.5 à articuler recherche fondamentale et applications concrètes, en accord avec le principe de la recherche à double impact, qui vise à répondre aux grands défis scientifiques tout en apportant des solutions aux enjeux socio-économiques. Cela contribue à affirmer l'ambition de Mines Paris - PSL de mettre son modèle de recherche unique au service de l'objectif d'être un acteur clé de la transition écologique.

Le programme doctoral illustre particulièrement cette dynamique en soutenant des thèses interdisciplinaires, avec une approche inter-départementale qui favorise la complémentarité des expertises et l'émergence de solutions innovantes aux défis de la transition.

L'organisation d'événements structurants - Forum, Workshop, webinaires et podcasts - a renforcé la visibilité des travaux menés, tout en favorisant le dialogue avec le monde académique, institutionnel et socio-économique.

De plus, les formations mises en place pour intégrer les enjeux de la transition écologique dans le cursus des élèves et doctorants ont permis d'ancrer durablement les ambitions de Mines Paris - PSL, portées à travers l'Institut, dans la formation des ingénieurs et chercheurs de demain.



Les activités menées en 2024 témoignent de la manière dont Mines Paris - PSL, à travers TTI.5, poursuit son engagement à structurer une recherche interdisciplinaire de haut niveau et à éclairer les choix stratégiques en faveur d'une transition soutenable et inclusive.

Paolo STRINGARI

AVANT-PROPOS

Dans son édition 2024, TTI.5 se dote désormais d'un rapport scientifique au côté de son rapport d'activité. Nous y présentons les cinq axes de recherche qui structurent l'institut : (i) « le design de la transition », (ii) « une planète électrique ? », (iii) « la planète inclusive », (iv) « la planète comme enjeu d'influence » et (v) « la planète vivante ». Chacun de ces cinq axes, en s'appuyant sur les connaissances et les compétences pluridisciplinaires des chercheurs de l'École, a vocation à favoriser une approche intégrée au sein de laquelle sciences (de l'ingénieur comme sciences humaines et sociales) et politiques publiques se nourrissent réciproquement afin de relever les défis environnementaux, d'accompagner la transition écologique vers un monde neutre en carbone, de penser la question de l'adaptation et d'intégrer les enjeux liés à la biodiversité afin d'apporter des solutions concrètes aux déséquilibres de notre planète.

La structuration de ces axes est appuyée par l'engagement de chercheurs qui, sur la base du volontariat, s'inscrivent comme chercheur référent dans l'un des cinq axes – quels que soient les centres de recherche auxquels ils sont rattachés à Mines Paris – PSL. Ils participent activement à l'animation scientifique et à la dynamique des axes où ils peuvent initier des projets de recherche spécifiques. Les thèses et les post-doctorats financés par l'institut et présentés dans le rapport d'activité alimentent également chacun de ces axes.

Il existe au sein de l'École de nombreux cadres hors soutien de TTI.5 qui permettent d'aborder les thématiques de la transition dans toutes ses assertions, en particulier ses liens à l'adaptation, à l'atténuation et à la biodiversité. Nous avons proposé d'ouvrir ce rapport scientifique à la restitution de certains de ces projets de recherche et/ou des publications réalisées en accord avec les auteurs et valorisons ces travaux au sein de quelques encadrés dédiés.

AXE 1 : LE DESIGN DE LA TRANSITION

Cet axe de recherche est dédié à l'analyse de la transition des systèmes techniques, sociaux, économiques, politiques et des conditions de leur bifurcation vers un système décarboné en intégrant les contraintes liées à l'adaptation. Dans la mesure où les réflexions s'orientent à la fois sur la question du concept de transition, de ses objectifs et de sa déclinaison au niveau des organisations, des entreprises et des échelles géographiques, il est essentiel de considérer des solutions qui portent aussi bien sur la décarbonation de la production que de la consommation et de questionner leur environnement réglementaire.

Chercheurs référents de l'axe

Benjamin Cabanes, IHEIE¹
Pierre Fleckinger, CERNA²
Matthieu Glachant*, CERNA
Emad Jahangir*, GEOSCIENCES³
Nadia Maïzi*, CMA⁴
Benoît Weil*, CGS⁵

Directeurs ou co-encadrants de thèses financées ou labellisées dans cet axe

Murad Abuaisha, GEOSCIENCES
Franck Aggeri, CGS
Christian Beauger, PERSEE⁶
Hervé Chauris, GEOSCIENCES
Béatrice Cointe, CSI⁷
Christelle Combeaud, CEMEF⁸

* La présence de ce symbole indique que le chercheur concerné est également directeur ou co-encadrant de thèse au sein de TTI.5.

1 Institut des Hautes Études pour l'Innovation et l'Entrepreneuriat (IHEIE). Ce centre de recherche est rattaché au département « Économie, management & société ».

2 Centre d'économie industrielle (CERNA). Ce centre de recherche est rattaché au département « Économie, management & société ».

3 Centre de géosciences (GEOSCIENCES). Ce centre de recherche est rattaché au département « Sciences de la terre & l'environnement ».

4 Centre de Mathématiques Appliquées (CMA). Ce centre de recherche est rattaché au département « Mathématiques & systèmes ».

5 Centre de Gestion Scientifique (CGS). Ce centre de recherche est rattaché au département « Économie, management & société ».

6 Centre Procédés, Énergies Renouvelables et Systèmes Énergétiques (PERSEE). Ce centre de recherche est rattaché au département « Énergétiques & procédés ».

7 Centre de Sociologie de l'Innovation (CSI). Ce centre de recherche est rattaché au département « Économie, management & société ».

8 Centre de Mise En Forme des matériaux (CEMEF). Ce centre de recherche est rattaché au département « Mécanique & matériaux ».

Francesco Delloro, MAT⁹
Pierre Dublanchet, GEOSCIENCES
Bruno Duplessis, CEEP¹⁰
Alexandrine Gesret, GEOSCIENCES
Damien Goetz, GEOSCIENCES
Faouzi Hadj-Hassen, GEOSCIENCES
Salem Hoceini, CEEP
Pascal Le Masson, CGS
Kévin Levillain, CGS
Yazid Madi, MAT
Charbel Moussa, CEMEF
David Pontille, CSI
Agnès Rivière, GEOSCIENCES
Thomas Romary, GEOSCIENCES
Ahmed Rouabhi, GEOSCIENCES
Blanche Segrestin, CGS
Paolo Stringari, CEEP

1.1. Présentation et thématiques de l'axe

En mêlant les réflexions de chercheurs issus des sciences de l'innovation et de l'entrepreneuriat, de l'économie industrielle, des mathématiques appliquées, de la gestion ainsi que des sciences de la terre et de l'environnement, ce premier axe de recherche a vocation à identifier les mécanismes et les dynamiques propres aux transitions.

Qu'est-ce que le « *design de la transition* » ? Cette question s'attache à la nature et à la définition même de la transition, à la manière dont les différents acteurs la perçoivent, aux spécificités des secteurs d'activité et des localités sur lesquelles elle s'applique. Dans la mesure où il s'agit autant de définir le concept global de transition que de discuter les causes (telles que le dérèglement climatique, l'érosion de la biodiversité, la raréfaction des ressources, la contrainte des limites planétaires, la dégradation de la qualité des eaux, etc.) qui en sont à l'origine, la définition de la transition n'est pas une chose aisée bien qu'elle soit nécessaire. Le recours à une approche systémique s'impose mais doit être complété par des contributions plus spécifiques afin de discuter la nature de la transition et de proposer de nouvelles formes organisationnelles et/ou de gouvernance adaptées à cette transition. A noter que dans le cadre de TTI.5 stricto sensu et des différents axes de recherche qui le composent, la définition du design de la transition est un prérequis aux recherches menées au sein des autres axes afin de proposer un cadre commun et cohérent de réflexion pour atteindre l'objectif de décarbonation souhaitée de nos sociétés.

Les apports des enseignants-chercheurs impliqués dans cet axe de recherche couvrent deux principaux aspects : d'une part, la conception de la transition et, d'autre part, l'ingénierie de la transition.

⁹ Centre des MATériaux (MAT). Ce centre de recherche est rattaché au département « Mécanique & matériaux ».

¹⁰ Centre Énergie, Environnement, Procédés (CEEP). Ce centre de recherche est rattaché au département « Énergétiques & procédés ».

Si la conception de la transition se réfère à l'identification des mécanismes et des processus contribuant au déclenchement et à la réalisation d'une décarbonation forte et rapide, l'ingénierie de la transition s'attache, quant à elle, à l'identification des solutions bas-carbone et à leur environnement régulateur (en particulier, aux leviers financiers et aux politiques publiques associées à la transition comme les taxes ou les subventions). Ces apports sont appliqués sur des questions qui ont un lien direct avec le processus de décarbonation. Les chercheurs participent ainsi à des projets visant à identifier les solutions qui portent sur la décarbonation de la production (par exemple, les énergies vertes, la capture du CO₂ ou l'utilisation de l'hydrogène) et celles qui portent sur la décarbonation de la consommation (par exemple, la sobriété ou l'efficacité énergétique).

Ces projets nécessitent ainsi, au-delà de l'application d'une approche systémique précédemment évoquée, l'élaboration de modèles de la transition (via, par exemple, la prospective pour éclairer les enjeux énergie et climat) visant à définir des objectifs clairs en matière de transition écologique. Cela implique une analyse critique de l'état effectif de la transition, des savoirs associés et des solutions proposées afin d'examiner les options qui pourraient nous conduire à un avenir souhaitable partagé.



Comment adapter l'organisation et les conditions de travail aux effets actuels et futurs du dérèglement du climat ?

La **chaire Futurs de l'Industrie et du Travail (FIT²)**, créée en 2018, a récemment inauguré un cycle de séminaires dédié à l'étude des liens entre changement climatique et conditions de travail.

Bien que les phénomènes climatiques extrêmes (par exemple, les canicules, les tempêtes, les inondations, les incendies, etc.) exercent un effet direct sur le travail que ce soit sur les employés (sur leur santé et/ou sur leur sécurité) ou sur la productivité des entreprises, les politiques d'adaptation des conditions de travail face à l'émergence de ces phénomènes ne sont que très rarement débattues.

Ce séminaire a ainsi eu pour objet de discuter les risques professionnels tant physiologiques que psycho-sociaux liés au dérèglement climatique et de proposer, du côté des entreprises, des mesures structurelles d'adaptation du travail aux aléas climatiques. Ces mesures d'adaptation peuvent s'inspirer des dispositions déjà prises dans d'autres pays européens : par exemple, l'Espagne, qui est confrontée à des températures records depuis quelques années, a légiféré sur les règles à appliquer en cas d'exposition des travailleurs à des situations météorologiques extrêmes (protection des travailleurs dont l'activité s'effectue en plein air, modification de l'amplitude horaire, etc.).

Pour plus d'informations sur le sujet, voir le working paper de Suzy Canivenc (2024), chercheuse associée à la chaire FIT² : <https://www.chairefit2.org/publications/changement-climatique-conditions-et-organisation-du-travail/> ou consulter les comptes-rendus des différentes séances : <https://www.chairefit2.org/chantiers/changement-climatique-et-travail/>.

1.2. Éclairage sur la place de Mines Paris - PSL dans les politiques publiques liées à la transition écologique

Lors de la 2ème édition du Workshop de TTI.5 (en mai 2024)¹¹, l'une des tables rondes organisées a eu pour objet de discuter les différentes expériences des chercheurs de l'École à propos de leurs participations à des prises de décisions publiques sur le sujet de la transition écologique et de capitaliser sur ces retours d'expérience. Dans ce contexte, trois chercheurs de l'axe 1 – **Benjamin Cabanes**, **Pierre Fleckinger** et **Nadia Maïzi** – ont échangé autour de la question : comment le chercheur interagit-il avec les politiques publiques ?

Les discussions issues de cette table ronde ont permis de souligner le rôle prépondérant des chercheurs dans le processus d'élaboration des politiques publiques associées à la transition écologique dans un riche environnement d'acteurs aux intérêts divergents. Ainsi, le rôle des chercheurs s'étend sur plusieurs dimensions :

- l'évaluation rétrospective et prévisionnelle de l'efficacité des politiques publiques ;
- l'adéquation entre la continuité de la réflexion et le suivi appliqué d'un sujet ou d'une politique publique sur une perspective de long terme ;
- l'élaboration de modèles appliqués mathématiques et/ou économiques ;
- l'analyse des données associées aux politiques publiques ;
- l'inclusion d'indicateurs dans la prise de décision par leur cadrage du problème.

À la différence des études réalisées par les cabinets de conseil par exemple, la valeur ajoutée de la recherche est de questionner le problème (en cherchant à poser la bonne question) et d'y répondre (lorsque la solution n'a pas été identifiée auparavant). Pour autant, cette table ronde a aussi permis d'insister sur la nécessité pour les chercheurs de s'extraire du strict cadre académique afin de partager leurs connaissances, compétences et expertises en dehors de la communauté de la recherche stricto sensu. La recherche est souvent synonyme de réflexions de long terme ; or, les questions de politiques publiques liées aux enjeux environnementaux requièrent des réflexions à plus court terme. Le désalignement entre ces deux rythmes doit donc être comblé.

Cette table ronde avait pour exemple précis celui de la transition écologique. Dans ce contexte, il faut préciser que tous les scénarios de long terme aujourd'hui largement débattus et soumis au grand public, aux décideurs et/ou aux négociateurs ne reposent pas toujours sur des modèles. Par exemple, à l'échelle nationale, les scénarios énergétiques sous contrainte climatique permettent de discuter les implications de choix et d'options en termes de politique industrielle, d'importations, de coûts, de rythme de déploiement des différents moyens de production, de plausibilité technique, de modes de vie et de comportements¹².

À Mines Paris – PSL, l'approche prospective a été développée depuis 2008 au CMA dans le cadre de la chaire Modélisation prospective au service du développement durable (cf. sous-section 1.3). La table ronde est également revenue sur ses apports spécifiques en matière de prospective climatique. Ainsi, pour alimenter une stratégie de long terme alignée avec les questions de transition telles que nous les envisageons au-delà des enjeux liés à l'énergie, la

¹¹ Cf. rapport d'activité, p.38.

¹² Voir le podcast intitulé « Soutien public à la rénovation énergétique : un pari gagnant ? » avec Guillaume Wald, doctorant au CERNA et au CEEP (cf. rapport d'activité, p.41).

prospective climatique doit interroger l'évolution d'un système autrement plus complexe et juguler en parallèle les questions d'atténuation et d'adaptation. Ce qu'il faut en comprendre est qu'elle se réalise en deux temps :

- d'une part, les modèles climatiques fournis par les climatologues (tels que ceux qui sont répertoriés par le GIEC) permettent d'évaluer l'évolution du climat en tant que tel, de comprendre les effets des changements climatiques et les effets auxquels nous serons confrontés comme la modification des gradients de températures, la hausse de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes, l'élévation du niveau de la mer, la perturbation de la biodiversité ou la modification de l'équilibre des écosystèmes ;
- d'autre part, des travaux de prospective spécifiques doivent nous permettre de construire des sociétés résilientes face à ces bouleversements tout en endiguant leur emballement. Il s'agit ici de regarder loin pour construire un autre avenir que ce présent où nous subissons les catastrophes qui se succèdent. Ainsi, il faut envisager les changements potentiels auxquels nous pourrions faire face comme, par exemple, une France en 2050 où le réchauffement moyen de la température terrestre aurait atteint 4 degrés par rapport à l'ère préindustrielle pour mieux s'y préparer. Cette prospective, puisqu'elle concerne l'ensemble des secteurs et mêle de nombreux enjeux (économiques, sociétaux, techniques, politiques, financiers, juridiques, stratégiques, etc.), ne peut se réaliser à l'aide d'un seul type de modèle, ni par le seul usage de modèles dans la mesure où les boucles de causalité sont très nombreuses.

Prenons, par exemple, une région subissant des submersions côtières telles qu'il devient impossible de préserver les zones d'habitation et de vie. Si l'économie locale est basée sur des ressources halieutiques, cela peut générer une remise en cause de modes de vie et une déstabilisation entière de la société. Les pêcheurs se voient obligés de se déplacer vers d'autres lieux, abandonnant leurs revenus traditionnels et une culture ancestrale basée sur leur rapport à la mer. Leurs nouvelles destinations sont souvent des régions où la compétition sur les ressources locales comme les sols et les ressources hydriques est déjà engagée. Ces ressources, déjà dégradées car affectées par des épisodes de sécheresses extrêmes et de pluies torrentielles, sont à la fois revendiquées par des agriculteurs et des éleveurs localement installés, ce qui se traduit par des compétitions supplémentaires. Cette série de tensions peut conduire à des migrations plus lointaines de ces populations précarisées ou encore à la dégradation de l'état sécuritaire régional. Il est ainsi clair que seule une vision holistique et systémique des transformations en cours faisant appel à des approches interdisciplinaires permet d'envisager la complexité des conséquences des changements climatiques.

Finalement, ce que nous discutons dans le cadre de ces politiques publiques, c'est l'art de décider car, rejoignant Pascal, il nous semble impossible de travailler à bien penser sans exercer une prospective climatique afin d'éclairer comment envisager les options de l'atténuation et de l'adaptation et de sorte que les solutions des uns ne deviennent pas les problèmes des autres.

1.3. Rétrospective des événements de l'année de l'axe

Dans cette section, sont présentés les événements soit organisés par les chercheurs de l'axe 1, soit auxquels ces derniers ont participé et pour lesquels ils ont mis en avant TTI.5.

Chaire Modélisation Prospective
au service du Développement Durable



Journée de la chaire Modélisation prospective au service du développement durable (MPDD) sur le thème « *Comment accélérer l'action climatique et lever les blocages dans le monde tel qu'il est ? Nouveaux enseignements de la modélisation prospective* » (Paris, France) : créée en 2008 à l'initiative du CMA et du CIRED (Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement), la chaire MPDD vise à faciliter la prise de décision dans les débats touchant aux enjeux environnementaux, économiques et technologiques liés à la double contrainte énergie-climat en développant une approche prospective. En partenariat avec l'ADEME, EDF, SCHNEIDER ELECTRIC, TotalEnergies OneTech et la Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de l'Écologie, la chaire MPDD vient d'être renouvelée pour la troisième fois en 2024. **Nadia Maïzi** (axe 1) et **Sandrine Selosse** (axe 4) en sont respectivement co-directrice et co-coordinatrice.

AXE 2 : UNE PLANETE ELECTRIQUE

Cet axe de recherche est dédié à l'analyse des conséquences des choix énergétiques liés à une électrification décarbonée ou faiblement carbonée et à la pertinence d'une telle orientation pour la transition écologique. Dans la mesure où des tensions émergent autour des externalités liées à cette option, il est essentiel d'explorer les enjeux inhérents à l'électrification et d'en définir les conditions techniques, sociales, organisationnelles et/ou politiques.

Chercheurs référents de l'axe

Edi Assoumou*, CMA
Francesco Delloro, MAT
Petr Dokladal*, CMM¹³
Robin Girard*, PERSEE
Claude Tadonki*, CRI¹⁴

Ingénieur de recherche

Andrés Téllez Ávila

Directeurs ou co-encadrants de thèses financées ou labellisées dans cet axe

Pierre Arnaud, MAT
Christian Beauger, PERSEE
Philippe Blanc, OIE¹⁵
Bruno Figliuzzi, CMM
Karim Inal, CEMEF
Sébastien Joannès, MAT
Lucien Laiarinandrasana, MAT
Kévin Levillain, CGS
Youssef Mesri, CEMEF
Maroun Nemer, CEEP
Yves-Marie Saint-Drenan, OIE
Blanche Segrestin, CGS
Sandrine Selosse, CMA
Cong-Toan Tran, CEEP

* La présence de ce symbole indique que le chercheur concerné est également directeur ou co-encadrant de thèse au sein de TTI.5.

¹³ Centre de Morphologie Mathématique (CMM). Ce centre de recherche est rattaché au département « Mathématiques & systèmes ».

¹⁴ Centre de Recherche en Informatique (CRI). Ce centre de recherche est rattaché au département « Mathématiques & systèmes ».

¹⁵ Centre Observation, Impacts, Energie (OIE). Ce centre de recherche est rattaché au département « Énergétiques & procédés ».

2.1. Présentation et thématiques de l'axe

En mêlant les réflexions de chercheurs issus des mathématiques appliquées, des sciences de la mécanique et des matériaux, de la morphologie mathématique, des systèmes énergétiques ainsi que des sciences informatiques, ce deuxième axe de recherche a vocation à explorer les trajectoires technologiques et les trajectoires de consommation compatibles avec une électrification décarbonée ou faiblement carbonée.

Que ce soit du point de vue de la production, de la consommation (comme de la réduction de la consommation) ou de l'efficacité énergétique, le déploiement du vecteur électrique est souvent présenté comme une orientation souhaitable, voire incontournable, pour répondre aux exigences de réduction de l'empreinte carbone dans nos sociétés. Dans la mesure où les efforts communs ont été orientés vers un double objectif d'abandon des énergies fossiles et de convergence vers une économie neutre en carbone à l'horizon 2050 fonctionnant, à priori, grâce à l'énergie électrique, la terre deviendrait-elle une « *planète électrique ?* ». Cette source d'énergie s'impose dans le paysage des énergies à faible impact carbonique ou décarbonées¹⁶. Ceci s'illustre d'ailleurs par l'expansion de l'électrification des systèmes usuels auparavant alimentés par des sources d'énergie hautement carbonées : par exemple, dans le cas de l'énergie domestique avec le chauffage ou dans les transports publics.

Les apports des enseignants-chercheurs impliqués dans cet axe de recherche couvrent différents aspects liés au choix de l'énergie électrique, qu'ils soient associés aux analyses de cycle de vie, à la gestion des ressources, aux questions sociopolitiques ou aux modèles d'affaires nécessaires à la conduite d'une bifurcation vers une planète électrique. Les réflexions visent aussi à anticiper les besoins potentiels et les évolutions techniques dans le domaine en considérant, dans la mesure du possible, les différentes recommandations envisagées notamment par la Commission Européenne. Ces apports sont appliqués sur des questions qui ont un lien direct avec les étapes du cycle de vie de l'énergie électrique de la production à la consommation, en passant par l'approvisionnement, la distribution ou le stockage. Par exemple, la production électrique provient de différentes sources (hydraulique, solaire, éolienne, nucléaire) dont chacune a ses spécificités en termes de disponibilité, de coûts, de contraintes techniques, d'impacts sociaux et environnementaux. Le stockage électrique soulève, quant à lui, certains problèmes liés à la technologie de conservation, à la capacité et au rendement bien qu'il soit crucial pour des usages différés ou embarqués. Sachant que l'énergie électrique n'est pas totalement neutre en carbone, les chercheurs participent ainsi à des projets visant à restreindre les émissions de carbone associées à la production d'électricité et à l'usage des systèmes électriques. Dans le domaine de l'informatique par exemple, l'utilisation intensive des supercalculateurs et le fonctionnement des grands centres de données induisent une consommation électrique assez importante dont l'équivalent carbone peut être questionnable. Une attention particulière est portée sur ces sujets liés à la digitalisation et au déploiement de l'intelligence artificielle dans sa double réciprocity : (i) pour l'atténuation et (ii) en tant que nouvel impact sur les émissions de gaz à effet de serre.

Ces projets nécessitent ainsi la prise en compte des enjeux opérationnels, d'accessibilité, d'appropriation sociale et d'acceptabilité du système électrique. Cela implique une analyse critique de la question du « tout électrique » puisqu'il existe non seulement des disparités régionales

¹⁶ Voir le podcast intitulé « Plus d'énergies renouvelables, quel rôle pour le citoyen ? » avec Clément Cabot, doctorant au CERNA (cf. rapport d'activité, p.41).

mais également de fortes dépendances (associées notamment à la question des défauts soit de production, soit d'approvisionnement) qui se font au détriment des usagers et/ou qui peuvent compromettre le bon fonctionnement des différents systèmes.

Opération optimale des pompes pour la *demand-response* dans les réseaux d'eau

Sophie Demassey et **Valentina Sessa**, chercheuses au CMA, étudient les problèmes de décision dans le contexte de la gestion de l'eau en mobilisant les outils mathématiques de l'optimisation.

Acquisition de données et *machine learning* ont investi les domaines de l'hydrologie et de l'hydraulique à travers les outils de simulation et d'analyse prédictive. En comparaison, l'analyse prescriptive, dernier maillon des systèmes d'aide à la décision pour l'eau, fait peu usage de la recherche opérationnelle et de l'optimisation mathématique. Les applications historiques incluent la gestion de réservoirs, le dimensionnement et le contrôle de réseaux urbains ou la production hydroélectrique mais, dans d'autres contextes décisionnels (sur les compétitions d'usages à l'échelle d'un bassin ou sur les stratégies préventives et réactives face aux aléas météorologiques et climatiques par exemple), l'absence de modèles analytiques fiables de taille et de complexité raisonnable freine l'usage des algorithmes d'optimisation standards.

Pourtant, l'optimisation mathématique a évolué à un rythme aussi soutenu que les problèmes décisionnels sont devenus plus intégrés et plus complexes. Les méthodes modernes sont capables d'optimiser, sur des décisions discrètes, des relations non-convexes, des prévisions incertaines, des objectifs multiples, des systèmes composites, des dynamiques fines et des horizons de planification longs. Leur emploi, combiné avec des modèles ou « jumeaux numériques », rend possible le calcul systématique de décisions finales avec certificats de faisabilité et d'optimalité.

Cette évolution est bien illustrée dans le contexte opérationnel des réseaux de distribution d'eau potable où une gestion fine de l'activation des pompes et des réservoirs permet d'implémenter des stratégies de *demand-response* par le report de charge et une meilleure efficacité des pompes. Ce problème décisionnel a été abordé par diverses approches d'optimisation, de la programmation linéaire dans les années 1950 à l'optimisation-simulation par algorithmes génétiques dans les années 1990 ou par l'apprentissage par renforcement aujourd'hui. Mais les méthodes linéaires ne produisent que des solutions approchées quand les méthodes heuristiques n'offrent pas de garantie sur les solutions et leur qualité. La programmation non-linéaire en nombres entiers a depuis été appliquée à des modèles analytiques plus précis produisant ainsi des plans de pompage pratiques et certifiés optimaux mais le « fléau de la dimension » limite l'applicabilité de cette approche aux réseaux de taille réduite.

Dans ce cadre, les chercheuses impliquées sur ce projet ont conçu trois voies d'amélioration : (i) une décomposition temporelle et spatiale pour repousser la dimension limite ; (ii) un couplage avec la simulation pour intégrer avec précision les dynamiques physiques ; (iii) un couplage avec l'apprentissage profond sur des données historiques pour aiguiller la recherche.

Ce projet répond à différents défis mathématiques : la nature non-convexe de la relation pression-débit, la nature combinatoire de la décision d'activation des pompes, la nature couplante - en temps et en espace - des réservoirs et des châteaux d'eau. Ces caractéristiques étant communes dans les systèmes hydrauliques et hydrologiques, ce projet peut être adapté à d'autres problèmes décisionnels de gestion de l'eau.

2.2. Éclairage sur le projet mobilité électrique



Dans le cadre du projet de recherche sur la mobilité électrique (2024 à 2026) co-financé par TTI.5 et par l'Institut Carnot, quatre chercheurs de l'axe 2 – **Edi Assoumou**, **Francesco Delloro**, **Petr Dokladal** et **Claude Tadonki** – et un ingénieur de recherche – **Andrés Téllez Ávila**¹⁷ – étudient l'électrification du secteur des transports en adoptant une approche holistique qui croise les perspectives techniques, économiques, sociales et environnementales. Ce projet consiste en la création d'une vue d'ensemble intégrée et structurée des connaissances actuelles sur le sujet crucial de la mobilité électrique pour nos sociétés. À travers une approche collaborative, il s'agit d'explorer des aspects tels que les matériaux et les technologies de production, les ressources énergétiques comme l'hydrogène, les implications géopolitiques ainsi que les effets environnementaux et sociétaux de cette transition.

L'objectif de ce projet est dual : d'une part, construire une base de connaissances solides et pluridisciplinaires afin d'offrir une vision éclairée sur le développement de la mobilité électrique ; d'autre, part, fournir des recommandations claires et actionnables pour les décideurs politiques et les acteurs socio-économiques en prenant appui sur les analyses réalisées. En cherchant à identifier les leviers d'action en faveur d'une transition énergétique réussie et équitable dans le secteur des transports, le projet comprend :

- l'élaboration d'une définition commune et précise de la mobilité électrique en tenant compte des différentes dimensions (techniques, économiques, sociales et environnementales) afin de bien définir le périmètre de l'étude et de poser les bases conceptuelles nécessaires à l'analyse des impacts, des opportunités et des défis liés à l'électrification des transports ;
- le développement d'une taxonomie complète des modes de transports, des technologies, des acteurs et des enjeux associés à l'électrification des transports ;
- la création d'une cartographie des recherches et/ou des projets internes à TTI.5 et à l'École sur la mobilité électrique pour identifier les points forts existants, les synergies et les lacunes ;
- la réalisation d'une analyse bibliométrique des recherches, des politiques publiques et des initiatives mondiales liées à l'électrification des transports ;
- l'identification des tendances et des innovations à l'échelle internationale ;
- l'étude des effets environnementaux, sociaux, économiques et politiques de la transition vers la mobilité électrique.

¹⁷ Andrés Téllez Ávila a précisément été recruté en novembre 2024 pour travailler sur ce projet aux côtés des chercheurs de l'axe 2.

Du fait de sa nature complexe, une taxonomie détaillée en plusieurs niveaux d'abstraction – outils conceptuels qui permettent d'analyser et de comprendre des systèmes complexes en les décomposant en différentes couches ou niveaux d'interaction – a été conçue pour organiser ce projet de recherche. Dans le contexte du transport électrique, ces niveaux d'abstraction aident à examiner non seulement les aspects techniques et matériels des véhicules électriques et de leur infrastructure mais aussi les implications économiques, environnementales, sociales et politiques associées à leur adoption. En utilisant ces niveaux, il devient alors possible d'identifier les facteurs clés qui influencent la transition vers des systèmes de transport plus durables, de comprendre les défis et les opportunités qui se présentent à différents acteurs (que ce soient les gouvernements, les entreprises ou les citoyens) et de concevoir des solutions intégrées et efficaces.

Cette taxonomie couvre précisément six niveaux d'abstraction. (i) Le niveau physique est relatif aux éléments matériels tangibles dans le transport électrique tels que les véhicules, les infrastructures urbaines et les sources d'énergie. Ce premier niveau se focalise sur les structures et les dispositifs physiques permettant la mise en place et le fonctionnement des solutions de transport électrique. (ii) Le niveau technique est relatif aux technologies et aux systèmes qui font fonctionner le transport électrique tel que les batteries, les moteurs électriques, les systèmes de gestion de flotte et l'intégration numérique afin d'optimiser l'efficacité de ces systèmes. Ce deuxième niveau se focalise sur l'innovation et les avancées technologiques dans le domaine (c'est-à-dire aussi bien sur la R&D que sur les nouvelles solutions de mobilité qui facilitent l'utilisation des véhicules électriques). (iii) Le niveau économique est relatif aux coûts liés aux infrastructures et à l'exploitation des systèmes de transport électrique tels que les coûts de production, les dépenses d'opération, les modèles économiques pour financer les infrastructures (comme les stations de recharge) et les opportunités sur les marchés émergents. Ce troisième niveau se focalise sur les incitations financières et les subventions en faveur de l'adoption du transport électrique par les entreprises et par les consommateurs. (iv) Le niveau environnemental est relatif à l'effet écologique du transport électrique, en abordant la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'instauration de pratiques de recyclage des batteries et l'analyse du cycle de vie des produits (de l'extraction des matières premières jusqu'à la gestion en fin de vie). Ce quatrième niveau se focalise sur la manière dont le transport électrique contribue aux objectifs environnementaux et en minimise les effets négatifs. (v) Le niveau social est relatif à l'accessibilité et à l'équité du transport électrique en mettant l'accent sur la disponibilité de ces solutions pour des communautés variées. Ce cinquième niveau se focalise sur la manière dont les innovations influencent la société et les nouveaux emplois créés dans ce secteur. (vi) Le niveau politique et réglementaire est relatif aux politiques publiques et aux réglementations qui encadrent le développement des transports électriques. Ce sixième niveau se focalise sur les aspects légaux et normatifs pour soutenir une croissance durable. Par conséquent, cette taxonomie permettra d'identifier les interactions et les interdépendances entre les différentes dimensions de la mobilité électrique.

L'originalité de ce projet réside en son caractère transdisciplinaire, lequel mobilise les différentes disciplines présentes au sein de l'École sur cette thématique complexe de la mobilité électrique afin d'en dégager une vision claire et partagée.

2.3. Rétrospective des événements de l'année de l'axe

Dans cette section, sont présentés les événements soit organisés par les chercheurs de l'axe 2, soit auxquels ces derniers ont participé et pour lesquels ils ont mis en avant TTI.5.

15th Workshop on Applications for Multi-Core Architectures, novembre 2024 (Hawaii, Etats-Unis d'Amérique) : ce workshop est dédié aux aspects fondamentaux et pratiques de la programmation efficace des processeurs parallèles à mémoire partagée (multi-cœur et unité de traitement graphique qui sont les cibles les plus courantes du calcul haute performance) dont l'omniprésence dans le paysage des dispositifs informatiques performants en a fait une norme et une brique de base pour les supercalculateurs. **Claude Tadonki** est l'organisateur de cet événement annuel depuis une dizaine d'années et, de ce fait, a orchestré cette 15^{ème} édition.

AXE 3 : LA PLANETE INCLUSIVE

Cet axe de recherche est dédié à l'analyse des enjeux de gouvernance de la transition vers une décarbonation de nos sociétés et aux conditions d'inclusion de cette gouvernance contrainte par certaines limites physiques (notamment celles qui sont liées à la finitude de la planète). Dans la mesure où la transition répond à un problème global, il est essentiel d'intégrer les caractères multi-échelles et multi-acteurs de nos sociétés et d'assurer une cohérence entre eux.

Chercheurs référents de l'axe

Christelle Combeaud*, CEMEF
Damien Goetz*, GEOSCIENCES
Kevin Levillain, CGS
Elena Magliaro, OIE
Blanche Segrestin, CGS

Directeurs ou co-encadrants de thèses financées ou labellisées dans cet axe

Franck Aggeri, CGS
Rémi Beulque, Toulouse Business School
Jean-Luc Bouvard, CEMEF
Séverine A.E. Boyer, CEMEF
Tatiana Budtova, CEMEF
Alain Burr, CEMEF
Antoine Fabre, CEEP
Bruno Figliuzzi, CMM
Daniel Florentin, ENPC¹⁸
Robin Girard, PERSEE
Elie Hachem, CEMEF
Brice Laurent, CSI
Arnaud Rigacci, PERSEE
Vandad-Julien Rohani, PERSEE
Anselmo Soeiro Pereira, CEMEF
Pascal Stabat, CEEP

3.1. Présentation et thématiques de l'axe

En mêlant les réflexions de chercheurs issus des sciences des matériaux, de la gestion, de la physique, des sciences de l'énergie ainsi que des sciences de la terre et de l'environnement, ce troisième axe de recherche a vocation à encourager la transition des villes et des territoires en impliquant les différents acteurs autour d'outils innovants.

* La présence de ce symbole indique que le chercheur concerné est également directeur ou co-encadrant de thèse au sein de TTI.5.

¹⁸ École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC).

Dans la mesure où elle requière à la fois la présence et la coordination d'acteurs complémentaires implantés à différentes échelles territoriales et la mise en œuvre d'outils variés pour aider ces acteurs à agir en faveur de la transition écologique, la terre est une « *planète inclusive* ». Penser l'inclusivité à une échelle relativement fine (comme celle de la ville) est un prérequis pour penser l'inclusivité à des échelles plus larges (comme celles d'un pays ou de la planète) mais, bien qu'elles soient imbriquées les unes aux autres, concilier ces inclusivités n'est pas une chose aisée. Par exemple, si l'urbanisme est une préoccupation centrale à l'échelle de la ville, ce sont davantage les enjeux géopolitiques qui importent à l'échelle de la planète. Dans ce contexte, il faut réunir les échelles spatiales et sociales afin de proposer des solutions efficaces et acceptables dans nos sociétés.

Les apports des enseignants-chercheurs impliqués dans cet axe de recherche couvrent différents aspects, qu'ils soient conceptuels, empiriques, méthodologiques ou réglementaires. Ces apports sont appliqués sur des questions qui ont un lien direct avec les enjeux de gouvernance liés à la transition, notamment avec les enjeux d'acceptabilité et d'appropriation sociale des outils mobilisés pour atteindre la décarbonation. Les chercheurs participent ainsi à des projets visant à inciter les différents acteurs (des entreprises aux ménages, en passant par les collectivités territoriales ou les industries) à s'engager concrètement dans la transition. Du côté des entreprises et des industries, ce sont les enjeux de viabilité, de durabilité et d'adaptation des outils mais aussi les mesures incitatives et coercitives à déployer qui sont questionnés : par exemple, les outils mobilisés sont associés aux sobriétés énergétiques dites structurelle et dimensionnelle par l'optimisation de l'aménagement territorial et l'adéquation aux tissus urbain, économique et social existants. Du côté des ménages, ce sont les modes de vie et la transformation de ces derniers qui sont questionnés : par exemple, les outils mobilisés sont associés à la sobriété énergétique dite d'usage par l'optimisation de l'éclairage, du chauffage et/ou de la climatisation ou à la sobriété énergétique dite conviviale¹⁹ par l'adaptation de la mobilité individuelle et/ou collective.

À la jonction de ces deux exemples et face aux enjeux que soulève la prise de conscience des ressources limitées de la planète, se trouve un troisième exemple : celui de l'économie circulaire qui vise simultanément à transformer les systèmes d'offre et les comportements de demande des consommateurs. Par opposition à un modèle linéaire, il s'agit de produire de manière durable en réduisant le gaspillage des ressources et la production de déchets (via le recyclage), en rallongeant la durée de vie des produits et des technologies (via leur réemploi ou leur réparabilité) et en réduisant l'empreinte matérielle de l'économie. Ainsi, l'économie circulaire nécessite une forte coordination des différents acteurs et interroge les différentes échelles d'action et de décisions.

Ces projets nécessitent ainsi l'application d'une approche holistique visant à rapprocher les connaissances pluridisciplinaires des données concrètes d'observation environnementale afin d'œuvrer collectivement pour la transition, c'est-à-dire en cherchant à la fois à réduire les effets (négatifs) de nos sociétés sur l'environnement et à proposer des solutions viables adaptées à chaque territoire. Cela implique une analyse critique des transformations de la planète, des outils de collecte des données, des solutions durables existantes et des technologies mises en œuvre pour comprendre le passé, surveiller le présent et prévoir – voire tester – le futur.

19 A noter que les quatre dimensions de la sobriété énergétique mentionnées ici (à savoir structurelle, dimensionnelle, d'usage et conviviale) ont été définies par l'association Négawatt.

Réduction de la traînée turbulente induite par des biopolymères

- Projet BIODRAG

Dans le cadre du projet de recherche BIODRAG, **Ricardo El Khoury**(*) sous l'encadrement d'**Anselmo Pereira**, **Elie Hachem** et **Bruno Figliuzzi**, respectivement chercheurs au CEMEF et au MAT, étudient la réduction des gaspillages d'eau et d'électricité dans les systèmes de pompage en utilisant un phénomène lié à la mécanique des fluides non-newtoniens appelé réduction de traînée par biopolymères. Ces derniers représentent des matières biosourcées produites par des organismes vivants (comme les végétaux, les algues, les animaux, etc.) en tant qu'alternative écologique au plastique.

La dilution en très faible concentration (quelques dizaines de parties par million) de chaînes polymériques longues dans un liquide (comme l'eau) peut réduire la traînée turbulente de 50 à 70% et, par conséquent, l'énergie nécessaire au pompage du matériau. Ce phénomène est souvent nommé la *drag reduction* ou, plus simplement, la DR.

Au cours des dernières années, de nombreuses études expérimentales et numériques ont été menées et motivées par les applications pratiques de la DR, à savoir le transport à grandes distances des liquides par pipelines (notamment dans l'agriculture et dans des complexes industriels), le transport des boues et des sus-

pensions dans les grandes villes, l'augmentation de la portée de jets pour la maîtrise des incendies ou les applications médicales dont la prévention de l'artériosclérose. Les polymères s'étirent et s'enroulent successivement grâce à leur propriété élastique en interaction avec les structures turbulentes, ce qui affaiblit ces dernières, réduit la traînée et, par conséquent, réduit l'énergie de pompage d'approximativement 50%.

Le projet BIODRAG s'intéresse à l'utilisation de biopolymères (dont le gel extrait de l'aloé vera, matériau non toxique et biocompatible) pour minimiser l'énergie de pompage des liquides. Plus spécifiquement, le projet vise à mettre en évidence les mécaniques physiques pilotant les interactions entre les chaînes polymères (diluées en très faible concentration dans de l'eau) et l'écoulement turbulent avec, comme but ultime, le fait d'optimiser les applications de la DR mentionnées ci-dessus. Cette étude s'appuie sur une approche mixte expérimentale-numérique, en allant du développement de dispositifs de caractérisation rhéologique de solutions à faible concentration de polymères aux simulations numériques directes et à l'analyse de données assistée par l'intelligence artificielle.

(*)Ricardo El Khoury, doctorant au CEMEF financé par l'institut TTI.5 (cf. rapport d'activité, p.16), mène cette recherche dans le cadre de sa thèse depuis novembre 2023.

3.2. Éclairage sur les projets DestinE et Fair ZFE

(a) Le projet DestinE



Dans le cadre du projet de recherche Destination Earth (DestinE²⁰, 2022 à 2030), une initiative phare de la Commission Européenne, une chercheuse de l'axe 3 – **Elena Magliaro** en collaboration avec le Centre de Gestion Scientifique (CGS) et la ville de Marseille – étudie comment mettre les données d'observation de la Terre au service de la transition des villes et des territoires. Ce projet consiste en une modélisation numérique très précise de la Terre à l'échelle mondiale. Pour cela, la méthodologie du co-design a été adoptée dans la mesure où elle favorise la collaboration entre des entités qui appartiennent à des réalités distantes comme les services techniques des villes et les scientifiques qui analysent les données puis en élaborent des applications.

L'objectif de ce projet est de développer un jumeau numérique de la Terre, c'est-à-dire une réplique virtuelle détaillée de notre planète construite à partir de vastes données environnementales (telles que Copernicus) collectées par des satellites ou par des mesures aériennes (on parle alors de télédétection) et/ou par des capteurs in situ (on parle, dans ce cas, de collecte locale). Ce modèle virtuel, qui contribue à la réalisation des objectifs de la double transition écologique et numérique de l'Union Européenne, permet de surveiller, de simuler et de prévoir les changements environnementaux de manière plus précise et plus détaillée. Les autorités publiques et les décideurs politiques peuvent, quant à eux, bénéficier de ces informations en temps « quasi-réel » afin de prendre rapidement des décisions éclairées en cas de situation de crise et de profiter des scénarios dits « et si... » en soutien à des projets futurs.

Les données d'observations de la Terre offrent un large éventail d'applications dans différents domaines comme :

- l'écologie urbaine avec la gestion et l'aménagement des zones urbaines, notamment au regard des effets des aménagements et de la création de zones vertes ;
- la protection de la nature avec la détection et l'analyse de l'état de santé de la végétation en ville, l'optimisation de l'arrosage et/ou l'implantation des bonnes espèces au bon endroit afin de s'adapter au mieux aux changements climatiques ;
- la prévention des risques liés aux phénomènes climatiques extrêmes ;
- le développement durable et les énergies renouvelables (grâce à une meilleure caractérisation de la ressource) avec l'identification des lieux les plus appropriés pour installer des équipements et/ou lancer des projets de communautés énergétiques.

20 A noter que trois organisations européennes – l'organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques, le centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme et l'agence spatiale européenne – supervisent la mise en œuvre de ce projet en tirant parti de leur expertise pour impliquer les utilisateurs et établir des partenariats par le biais d'un dialogue ouvert avec les parties prenantes.

Ces données peuvent apporter une aide précieuse pour réussir la transition vers la neutralité carbone que la ville de Marseille vise pour 2030. Outre le partenariat avec la ville de Marseille, ce projet s'étend à d'autres collectivités comme la communauté d'agglomération de Sophia-Antipolis où l'équipe OIE, dans le cadre de projets avec les étudiants, a mené des études sur la mobilité (notamment alimentée par l'énergie solaire) ainsi que sur les modèles d'autoconsommation pour les bâtiments publics et sur la possibilité d'installations photovoltaïques dans des lieux spécifiques sélectionnés pour leur potentiel solaire. L'outil de simulation de la production solaire à partir de données satellitaires et du modèle de surface (développé par le centre OIE) est un outil prometteur pour analyser les projets d'autoconsommation et aider les villes à mieux exploiter leur potentiel.

L'originalité de ce projet réside en son caractère concret dont une application a déjà été développée et permet de visualiser facilement des cartes et leur évolution en sélectionnant les données d'intérêt et la période souhaitée. Elle permet également de réaliser des analyses et des comparaisons répondant aux besoins opérationnels des services des villes.

(b) Le projet Fair ZFE

Dans le cadre du projet de recherche Fair Zones à Faibles Émissions (« Fair ZFE – Concilier qualité de l'air et justice sociale : exploration des conditions d'application des avaries communes au cas des ZFE ») en partenariat avec l'ADEME, deux chercheurs de l'axe 3 – **Kevin Levillain** et **Blanche Segrestin** – étudient le rôle des ZFE pour lutter contre la pollution de l'air et renouveler les mobilités en ville (ou ZFE-m²¹). Ce projet consiste en la conception d'une ZFE solidaire pour penser l'action publique en faveur de l'environnement et du climat.

Depuis la loi climat et résilience de 2021, les métropoles de plus de 150 000 habitants sont soumises à une obligation de mettre en place le dispositif relatif à la ZFE de manière à éliminer de la circulation les véhicules les plus polluants. Ce dispositif crée, cependant, des effets inéquitables puisque les efforts de réduction de pollution portent uniquement sur les détenteurs de véhicules polluants alors que l'ensemble des usagers de la zone concernée (c'est-à-dire les touristes, les entreprises, les habitants) en tirent des bénéfices. Ainsi, l'effort demandé à chacun touche plus durement les ménages précaires qui sont les principaux détenteurs des véhicules les plus polluants. Plusieurs métropoles (comme celles de Nancy, Rouen et Lyon) explorent des aménagements possibles avec des aides pour les plus précaires et/ou des mesures mieux ciblées en concertation avec la population.

L'objectif de ce projet est d'examiner dans quelle mesure une approche par la règle dite des avaries communes peut permettre de rendre le dispositif de la ZFE plus solidaire sans en réduire son efficacité. La règle des avaries communes est une règle ancienne mais toujours en vigueur du droit maritime international : elle désigne un effort ou un sacrifice consenti pour éviter un péril commun à toute une communauté.

Cet effort ou sacrifice intentionnel doit être pris en charge de manière équitable et cohérente avec le but du sauvetage, c'est-à-dire en partageant le coût au prorata des richesses que le sacrifice aura sauvées²².

21 Les Zones à Faibles Émissions mobilité (ZFE-m) correspondent aux territoires au sein desquels la circulation est restreinte pour certains véhicules. L'exemple le plus connu pour ce dispositif est associé à la vignette Crit'Air.

22 Voir le podcast intitulé « L'atténuation du changement climatique à l'épreuve de l'équité » avec Charlotte Demonsant, doctorante au CGS (cf. rapport d'activité, p.41).

L'originalité de ce projet réside dans le changement de regard sur la situation : plutôt que de considérer que les comportements individuels polluants sont à changer, il s'agit d'analyser si la pollution de l'air peut (et dans quelles circonstances) s'apparenter à un péril commun et à explorer les conditions comme les effets de l'application de la règle des avaries communes. Le projet comprend trois principales étapes :

- la caractérisation des interdépendances liées à la pollution de l'air et l'évaluation des actions envisagées par la métropole en lien avec la ZFE, notamment les actions visant à minimiser les risques d'exclusion des citoyens ;
- l'étude des déclinaisons possibles du modèle des avaries communes face au péril de la pollution de l'air de la zone concernée et la constitution de deux groupes de travail associés (l'un sur l'efficacité des actions, l'autre sur les richesses sauvées) ;
- la formulation de propositions locales d'aménagement de la ZFE à partir de la logique des avaries communes afin de la rendre plus solidaire.

Rénover pour la transition - Projet PREMOCLASSE

Dans le cadre du projet de recherche socio-économique PREMOCLASSE (projet interdisciplinaire co-financé par l'ANR) et en partenariat avec EDF et le CIREC, **Alexandre Mallard**, chercheur au CSI, a coorganisé deux journées d'études dédiées aux approches de sciences sociales des marchés de la rénovation énergétique. Au sein de l'École des Mines, cette journée a entre autres réuni des chercheurs issus du CSI, du CERNA, de l'ISIGE et de PERSEE.

Bien que le recours à une politique de rénovation énergétique des logements et des bâtiments dans la lutte contre le changement climatique fasse désormais consensus, les modalités de son déploiement (que ce soit l'élaboration des instruments associés ou leur mise en œuvre) soulèvent certaines controverses. Au-delà des traditionnelles innovations techniques et commerciales, ce sont d'autres enjeux plus récents qui émergent également : par exemple, l'efficacité globale des démarches de rénovation énergétique, la coordination des entreprises artisanales engagées dans ces rénovations, l'amélioration de l'information destinée aux ménages bénéficiaires de ces rénovations dans la définition et le pilotage de prestations complexes, etc. Ces journées d'études ont ainsi eu pour objet de discuter les enjeux liés à la rénovation énergétique en adoptant la focale de la recomposition des marchés et en favorisant

les interactions entre les recherches menées actuellement en sciences sociales sur ce sujet.

Dans le cadre de la politique énergétique européenne et de l'atteinte de la neutralité carbone en 2050, la rénovation du secteur du bâtiment poursuit un double objectif : d'une part, réduire la consommation d'énergie finale des bâtiments et, d'autre part, limiter les émissions de gaz à effet de serre. Le concept qui illustre certainement le mieux la poursuite de ce double objectif est celui dit des passoires thermiques et énergétiques qui s'est popularisé grâce à leur simple identification par les étiquettes F et G du diagnostic de performance énergétique (à noter que le projet de recherche PREMOCLASSE questionne ce dispositif dans l'élaboration des politiques de rénovation énergétique). La rénovation de ces passoires est apparue comme l'un des chantiers prioritaires du fait de l'amélioration du confort des logements et de la réduction de la facture énergétique pour les ménages concernés.

Pour plus d'informations sur le sujet des passoires énergétiques, voir la communication de Catherine Grandclément (EDF R&D et Centre de recherche en gestion I3) et Alexandre Mallard (2024) : <https://shs.hal.science/halshs-04887234v1>



3.3. Rétrospective des évènements de l'année de l'axe

Dans cette section, sont présentés les évènements soit organisés par les chercheurs de l'axe 3, soit auxquels ces derniers ont participé et pour lesquels ils ont mis en avant TTI.5.

User Exchange Destination Earth, octobre 2024 (Darmstadt, Allemagne) : dans le cadre du projet de recherche DestinE (présenté précédemment, cf. sous-section 3.2), **Elena Magliaro**, Malik Terfous et Alexandre Azoulay – deux autres chercheurs de Mines Paris - PSL – ont coanimé un atelier sur la méthodologie de co-conception appliquée aux données d'observation de la Terre pour la transition écologique et spécialement conçue pour combler l'écart entre DestinE et les utilisateurs finaux. Autour d'un atelier interactif, les participants ont alterné cours et exercices pratiques puis ont pu réfléchir à leur propre environnement en adaptant les meilleures pratiques de co-conception.

AXE 4 : LA PLANÈTE COMME ENJEU D'INFLUENCE

Cet axe de recherche est dédié à l'analyse des tensions éthiques et géopolitiques qui ont émergé autour des questions de la protection de l'environnement et de la gestion des ressources. Dans la mesure où ces enjeux peuvent constituer des facteurs d'inertie et représenter des freins à la transition, il est essentiel d'en comprendre les fondamentaux et de décrypter les mécanismes qui les alimentent.

Chercheurs référents de l'axe

Séverine A.E. Boyer, CEMEF
Cathy Descamps-Large, ISIGE²³
Charbel Moussa, CEMEF
Bruno Scalabrino, GEOAZUR (Université Côte d'Azur)
Sandrine Selosse*, CMA

Ingénieure en science des données Amal Saidi

Directeurs ou co-encadrants de thèses financées ou labellisées dans cet axe

Boutros Ghannam, CEEP
Nadia Maïzi, CMA

4.1. Présentation et thématiques de l'axe

En mêlant les réflexions de chercheurs issus des sciences des matériaux, des sciences de l'ingénierie et de gestion de l'environnement, des mathématiques appliquées et de l'économie, ce quatrième axe de recherche a vocation à questionner les organisations, les instruments politiques, les mécanismes financiers, les règles, les normes et les procédures qui régissent les processus mondiaux de protection du climat et de l'environnement, les modalités de leur construction et de leur mise en œuvre.

Comme nous l'avons expliqué précédemment, bien qu'elle soit définie par son caractère global, la transition se heurte à des réalités diverses (en fonction de l'échelle territoriale concernée, des temporalités dans l'action) et nourrit parallèlement des enjeux de compétition économique et technologique (au travers des brevets, des normes, des positionnements et

* La présence de ce symbole indique que le chercheur concerné est également directeur ou co-encadrant de thèse au sein de TTI.5.

²³ Institut Supérieur d'Ingénierie et de Gestion de l'Environnement (ISIGE). Ce centre de recherche est rattaché au département « Sciences de la terre & de l'environnement ».

des avancées technologiques, etc.). Dans la mesure où elle cristallise certaines rivalités liées à la question du défi climatique, la terre est une « planète comme enjeu d'influence ». Cela nécessite un éclairage des enjeux de souveraineté et d'autonomie autant autour de la production que de l'approvisionnement des diverses matières premières nécessaires au monde d'aujourd'hui et de demain comme les minerais, les hydrocarbures, l'eau ou les matières premières agro-alimentaires.

Les apports des enseignants-chercheurs impliqués dans cet axe de recherche couvrent différents aspects, qu'ils soient analytiques, méthodologiques ou empiriques. Ces apports sont appliqués sur des questions qui ont un lien direct avec les enjeux éthiques et géopolitiques locaux et/ou internationaux liés à la gestion des ressources de leur exploitation jusqu'à leur utilisation, en passant pour toutes les étapes de leur transformation²⁴. Les chercheurs participent ainsi à des projets visant à mettre en lumière le rôle des tensions et des conflits dans un contexte de protection du climat et de l'environnement. Par exemple, dans la mesure où le lithium, le cuivre et le cobalt sont des matériaux stratégiques pour l'avenir des solutions de décarbonation, comme les batteries électriques, leur gestion et leur approvisionnement cristallisent certaines tensions et incitent à une restructuration des rapports de force internationaux, à une réactualisation des coopérations entre les parties prenantes et à une redéfinition des rivalités autour du contrôle de ces ressources.

Ces projets nécessitent ainsi l'application d'une approche prospective couplée à une approche par anticipation rationnelle mais non idéologique visant à éclairer les possibles futurs et ainsi les décisions liées à la transition. Cela implique une analyse critique de la répartition des efforts, de la responsabilité commune mais différenciée et de la contribution juste à la décarbonation. Derrière ces questionnements se jouent des enjeux d'éthique liés à la gestion des ressources, aux pratiques d'ingénierie et, à un niveau plus politique, aux enjeux de justice environnementale, de propriété et de partage de la valeur qu'il s'agit d'articuler aux contraintes liées à la physique du climat.

4.2. Éclairage sur le projet matériaux



Dans le cadre du projet de recherche sur les ressources minières (octobre 2024 à mars 2026) financé par TTI.5, des chercheurs issus des axes 3 et 4 – **Séverine A.E. Boyer, Damien Goetz, Charbel Moussa, Bruno Scalabrino** et **Sandrine Selosse** – et une ingénieure en sciences des données – **Amal Saidi**²⁵ – s'intéressent à la représentation spatiale de l'extraction et de la transformation des différentes matières premières nécessaires pour le monde d'aujourd'hui et de demain afin d'accompagner les stratégies de transition. Ce projet consiste en une double cartographie : d'une part, une cartographie mondiale de deux ressources critiques dites « cernables » (le lithium et le

24 Voir le podcast intitulé « Se libérer des énergies fossiles – focus sur les enjeux de la région Moyen-Orient et Afrique du Nord » avec Charlène Barnet, doctorante au CMA (cf. rapport d'activité, p.41).

25 Amal Saidi a précisément été recrutée en octobre 2024 pour travailler sur ce projet de 18 mois aux côtés des chercheurs des axes 3 et 4.

cobalt qui sont des métaux critiques pour l'énergie) ; d'autre part, une cartographie des tensions armées (relatives notamment aux conflits, aux installations de bases militaires, etc.). Cette double cartographie est motivée par le fait que l'exploitation et la circulation des différentes ressources peuvent être fortement affectées par les conditions géopolitiques, les temps de tensions et/ou de conflits qu'ils soient locaux ou mondiaux.

L'objectif de ce projet, dont l'enjeu méthodologique est fort, est de développer un outil d'extraction de données parmi une masse très riche d'informations dans un contexte en évolution dont il faudra tenir compte afin d'assurer la pérennité de l'outil. Ce dernier devra également être répliquable à d'autres ressources au-delà du lithium et du cobalt. Le cuivre pourra, par exemple, servir de test en ce sens. Le projet comprend :

- la création d'une base de données évolutive pouvant être mise à jour en continu afin d'identifier l'existence de corrélations entre la production/circulation des matières premières et la présence de conflits ;
- l'exploration des outils développés dans le cadre de la prédiction des risques concernant les conflits armés ;
- l'identification des flux des ressources à travers une cartographie de la première transformation de la matière première.

L'originalité de ce projet réside en son caractère pluridisciplinaire visant à initier de nouveaux élans sur des thématiques peu abordées jusqu'ici mais qui sont pourtant indispensables au pilotage de la transition et à combler des manques comme celui d'une vision complète de la distribution des ressources au niveau mondial soumise à diverses tensions besoins/ressources.

4.3. Rétrospective des évènements de l'année de l'axe

Dans cette section, sont présentés les évènements soit organisés par les chercheurs de l'axe 4, soit auxquels ces derniers ont participé et pour lesquels ils ont mis en avant TTI.5.

Fête de la Science, octobre 2024 (Juan-les-Pins, France) : lors de cette édition dont le thème portait sur un « Océan de savoirs », **Séverine A.E. Boyer**, **Sandrine Selosse** et Aude Prummel – une doctorante de Mines Paris - PSL – ont tenu un atelier au « Village des Sciences et de l'Innovation - Le futur ouvert à tous » où elles ont sensibilisé le grand et jeune public à la fragilisation de la biodiversité de l'Océan à travers le phénomène d'acidification. Deux types d'animation ont été proposées : (i) la première ludique a souhaité donner accès à l'appropriation des valeurs du pH ; (ii) la seconde, sous forme de « Trivial Pursuit », a repensé les questions en les dédiant à la géographie, au trafic maritime, à l'empreinte carbone des flux maritimes ou à la géopolitique des mers et des océans. Le stand portait également l'exposition créée sur la base du Forum TTI.5, intitulé « Regards africains sur les changements climatiques »²⁶, organisé en mai 2024.

AXE 5 : LA PLANÈTE VIVANTE

Cet axe de recherche est dédié à l'analyse des interdépendances entre nos sociétés et les autres êtres vivants qui structurent la biosphère. Dans la mesure où le développement de nos sociétés couplé à l'essor des technologies ont conduit à transformer notre environnement naturel et à provoquer une dégradation de la biodiversité, il est essentiel de questionner la manière dont nous considérons le vivant, sa gouvernance, son statut juridique, ses contributions économiques et sociales au même titre que sa dynamique et son devenir au regard des changements globaux.

Chercheurs référents de l'axe

Franck Aggeri*, CGS
Thomas Beaussier, ISIGE
Etienne Decencière, CMM
Christine Franke, GEOSCIENCES
Emmanuel Garbolino*, ISIGE
Sophie Guillon, GEOSCIENCES
Clément Marquet, CSI
Florian Massip, CBIO²⁷

Directeurs ou co-encadrants de thèses financées ou labellisées dans cet axe

Rémi Beulque, Toulouse Business School

5.1. Présentation et thématiques de l'axe

En mêlant les réflexions de chercheurs issus des sciences de l'ingénierie et de gestion de l'environnement, de la morphologie mathématique, de la sociologie, de la bio-informatique ainsi que des sciences de la terre et de l'environnement, ce cinquième axe de recherche a vocation à élucider le rapport au vivant dans un contexte de crise climatique et d'érosion de la biodiversité.

Dans la mesure où elle possède certaines propriétés qui permettent l'émergence et le maintien de la vie se manifestant par la présence d'organismes capables de se reproduire, de croître, de se développer puis de mourir, la terre est une « *planète vivante* ». Les êtres vivants structurent la biosphère qui est, elle-même, le fruit de multiples interactions avec les éléments de la géosphère (dont l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère). Le développement de nos sociétés (anthroposphère) repose sur ces interactions en nous fournissant énergie et matière. En retour, nos activités influencent fortement ces dynamiques et, depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, la croissance de la population humaine couplée à l'essor des technologies ont conduit à transformer profondément notre environnement naturel en provoquant une dégradation de la biodiversité à

* La présence de ce symbole indique que le chercheur concerné est également directeur ou co-encadrant de thèse au sein de TTI.5.

²⁷ Centre de BIO informatique (CBIO). Ce centre de recherche est rattaché au département « Mathématiques & systèmes ».

un rythme sans précédent et en favorisant l'émergence de situations à risques pour nos sociétés : par exemple, l'érosion de sols fertiles, le dépérissement des forêts, la dégradation de la qualité des eaux, l'expansion des épidémies et des ravageurs, la dérégulation climatique, etc.

Les apports des enseignants-chercheurs impliqués dans cet axe de recherche couvrent différents aspects, qu'ils soient conceptuels, empiriques, méthodologiques, normatifs ou technologiques. Ces apports sont appliqués sur des questions qui ont un lien direct avec le vivant avec, le plus souvent, une mise en perspective sur les aspects dynamiques des interactions entre le vivant et nos sociétés. Les chercheurs participent ainsi à des projets visant à (re)mettre le vivant au cœur des décisions par le développement de méthodes, d'outils et de connaissances afin d'aider les décideurs à intégrer la préservation du vivant au sein des outils de gestion des entreprises, des stratégies de pilotage des activités et/ou de la planification territoriale.

Ces projets nécessitent ainsi l'application d'une approche prospective visant à produire des connaissances nouvelles afin de soutenir durablement la transition de nos sociétés et de nos territoires. Cela implique une analyse critique des savoirs, des méthodes et des expertises mobilisés dans les pratiques d'anticipation ainsi que la définition d'indicateurs pertinents pour une gouvernance efficace de la transition écologique. Par ailleurs, la nature complexe des systèmes étudiés requiert aussi la mise en œuvre d'approches systémiques et intégratives telles que l'approche écosystémique (ou *ecosystem-based approach*) pour structurer un espace de communication entre les résultats issus de la recherche, leur utilisation par les parties prenantes et leur intégration au sein des enjeux démocratiques.

Quel est le coût des émissions chimiques et de la pollution atmosphérique ? - Projet VALESOR

Dans le cadre du projet de recherche européen VALESOR (Valuation of Environment Stressors qui a débuté en 2023), en collaboration avec une équipe internationale et interdisciplinaire, **Daniel Herrera**, chercheur au CERNA, étudie les facteurs de stress environnementaux afin d'aider les décideurs à identifier les mesures les plus efficaces pour sauver des vies et économiser des fonds publics.

La pollution n'est pas seulement néfaste pour la planète, elle affecte directement la santé humaine. Des particules ultrafines à l'ozone en passant par les métaux toxiques et les solvants, les facteurs de stress environnementaux contribuent aux maladies, réduisent l'espérance de vie et nuisent aux écosystèmes. Afin d'évaluer correctement ces conséquences, de nombreux paramètres sanitaires et économiques doivent être pris en compte. VALESOR vise à clarifier les choses en comparant différentes méthodes d'évaluation économique et sanitaire, en identifiant leurs relations et en guidant les décideurs politiques vers les pa-

ramètres les plus pertinents pour des évaluations économiques cohérentes et fiables.

Au cœur du projet se trouve un outil en ligne facile à utiliser qui permettra aux décideurs politiques d'évaluer les effets des polluants chimiques et de la pollution atmosphérique sur la santé et le bien-être. En fournissant un modèle d'évaluation économique actualisé, cet outil permettra de prendre des décisions plus intelligentes, fondées sur des données, sur la manière d'allouer efficacement les ressources publiques. Si les risques pour la santé de polluants tels que le plomb, les oxydes d'azote et les particules fines sont bien documentés, beaucoup d'autres restent moins bien compris en raison de lacunes dans les données relatives à l'exposition et aux dangers.

Pour combler cette lacune, l'outil VALESOR inclut une sélection de substances chimiques et propose une évaluation provisoire basée sur les meilleures preuves scientifiques disponibles.

Pour plus d'informations sur ce projet de recherche, voir : <https://valesor.eu>



5.2. Éclairage sur le projet HERBE

Dans le cadre du projet de recherche Hameau Expérimental de Recherche pour une BioEconomie locale (HERBE, octobre 2024 à octobre 2027) en partenariat avec l'ADEME, deux chercheurs de l'axe 5 – **Thomas Beaussier** et **Emmanuel Garbolino**²⁸ – étudient l'adaptation du développement rural au changement climatique. Ce projet consiste en une expérimentation complète et en conditions réelles d'un système local de production, de transformation et de valorisation de la biomasse à l'échelle d'un hameau et de sa vallée, La Vigotte. Par analogie avec la notion de biorégion dont le projet s'inspire, ce territoire est appelé un « biohameau » ; sa démarche s'appuie sur un document stratégique innovant, lequel a été baptisé « plan guide permacole du bio-hameau ». Ce biohameau vosgien sert de laboratoire vivant où travail de terrain et science des données se mêlent afin de soutenir les objectifs de transition écologique et de durabilité des activités dudit bio-hameau.

L'objectif de ce projet est de tester la capacité de petits systèmes productifs locaux mixtes, valorisant des ressources naturelles locales, à offrir des niveaux de performance élevés avec une faible empreinte écologique et d'importants bénéfices socio-économiques locaux. Sur le site de La Vigotte, le projet comprend :

- la production expérimentale de la biomasse, c'est-à-dire la gestion durable de la forêt, le déploiement de cultures agroforestières régénératrices et adaptées aux évolutions climatiques ;
- sa transformation et sa valorisation en circuit court, notamment pour la construction avec l'éco-rénovation de bâtiments démonstrateurs et pour l'énergie avec le déploiement d'un réseau énergétique de biomasse adapté aux spécificités du hameau ;
- l'évaluation des effets environnementaux du système bioéconomique local ;
- l'analyse des conditions de fonctionnement d'un tel système sur les plans de l'organisation et de la gouvernance.

L'originalité de ce projet réside en son caractère transversal, corollaire de son ancrage territorial local mais aussi en sa démarche de laboratoire vivant fondée sur l'expérimentation rapide en parallèle des études et des modélisations prospectives qui seront réalisées.

5.3. Rétrospective des événements de l'année de l'axe

Dans cette section, sont présentés les événements soit organisés par les chercheurs de l'axe 5, soit auxquels ces derniers ont participé et pour lesquels ils ont mis en avant TTI.5.

Lancement de l'axe 5, mai 2024 (Paris, France) : lors de la 2ème édition du Workshop de TTI.5, l'axe 5 « *La planète vivante* » a été lancé au cours d'une session dans laquelle **Emmanuel Garbolino** a présenté, de manière synthétique, le cadre général de réflexion dans lequel s'inscrit cet axe, les grandes thématiques, les projets en cours et futurs portés par différents centres de l'École, ses partenaires et les enseignants-chercheurs de l'École qui ont participé à la réflexion pour structurer cet axe. Les questions et les remarques constructives des participants de ce workshop ont apporté des éléments utiles pour finaliser la structuration de cet axe.

²⁸ Théodore Fontenaille, doctorant au CEEP financé par l'institut TTI.5 (cf. rapport d'activité, p.15), est également impliqué dans ce projet.

Formation des services du Premier Ministre à la transition écologique, mai 2024 (Fontainebleau, France) : dans le cadre des objectifs de formation des hauts fonctionnaires de l'État à la transition écologique, parcours « Territoire, Energie, Climat », Laurent Amice (Directeur de l'Executive Education Mines - PSL) a porté une formation intitulée « Conscience du territoire ou comment nous représentons-nous le territoire : un parcours immersif au sein du massif forestier de Fontainebleau ». Cette formation a été coorganisée avec le centre de GEOSCIENCES (Damien Huyghe) et ISIGE (**Emmanuel Garbolino**). L'objectif de cette journée de formation était de proposer aux 50 participants une approche expérientielle pour améliorer la perception du territoire et de ses enjeux. Cette session de terrain a ainsi permis d'expliquer les dynamiques des paysages géologiques et de la gestion de la forêt de Fontainebleau en perspective des effets apportés par le changement climatique sur cet espace patrimonial.

Table ronde « Biodiversité et Entreprises », décembre 2024 (Paris, France) : organisée par l'ISIGE, cette table ronde a été coanimée par **Emmanuel Garbolino** et Anne-Claire Asselin (Sayari) qui ont pu recueillir les points de vue et expériences de Lina Dechamp de MICHELIN, d'Agnès Hallosserie de l'Institut du Développement Durable et des Relations Internationales et de David Magnier de la CDC Biodiversité. Au cours de cette soirée, ils ont pu aborder trois points majeurs relatifs aux liens entre biodiversité et entreprises qui concernaient le retour et les effets de la COP16 du point de vue des entreprises, comment la question de la dépendance et des impacts des entreprises vis-à-vis de la biodiversité était abordée et, enfin, la place que pourraient occuper les certificats/ crédits biodiversité dans le contexte actuel.

Publications

Ces publications ne constituent pas une liste exhaustive des contributions des chercheurs de Mines Paris – PSL. Elles sont ordonnées par ordre alphabétique et les noms des chercheurs impliqués dans les axes de TTI.5 sont surlignés en gras dans le texte.

- Andrade, C., Desport, L., **Selosse, S.**, (2024). “Net-negative emission opportunities for the iron and steel industry on a global scale”. *Applied Energy*, vol.358. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122566>.
- Andrade, C., **Selosse, S.**, (2024). “Circular economy for the energy system as a leverage for low-carbon transition: long-term analysis of the case of the South-East region of France. *Energies*, 17(6), 1407. <https://doi.org/10.3390/en17061407>.
- Azoulay, A., Terfous, M., Barbier, R., Blanc-Benon, P., Fichaux, N., Le Masson, P., **Magliaro, E.**, Ménard, L., Ranchin, T., **Weil, B.**, (2024). “Towards platform-based co-design: reconciling contextualization and the design of genericity through retrofit”. IGARSS-IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Athens, Greece, 892-896. <https://doi.org/10.1109/IGARSS53475.2024.10642528>.
- Calel, R., Colmer, J., Dechezleprêtre, A., **Glachant, M.**, (2025). “Do carbon offsets offset carbon?”. *American Economic Journal: Applied Economics*, 17(1), 1-40. <https://doi.org/10.1257/app.20230052>.
- Carvallo, C., Isambert, A., **Franke, C.**, Turcati, L., Sivry, Y., Coural, S., et al., (2024). “Ecorc’Air: a citizen science project for the biomonitoring of vehicular air pollution in Paris, France”. *Community Science*, 3: e2024CSJ000084. <https://doi.org/10.1029/2024CSJ000084>.
- Chlela, S., **Selosse, S.**, (2024). “Water use in a sustainable net zero energy system: what are the implications of employing bioenergy with carbon capture and storage?”. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 40, 146-162. <http://doi.org/10.54337/ijsepm.8159>.
- Desport, L., Andrade, C., Corral, D., **Selosse, S.**, (2025). “Feasibility, conditions, and opportunities for achieving net-negative emissions in the global cement industry”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 141, 104280. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2024.104280>.
- Desport, L., Chabouni, N., **Selosse, S.**, **Maïzi, N.**, (2024). Questioning the use of median values in IPCC AR6 scenarios. *What Works Climate Solutions Summit*, TU Berlin, Germany, June.
- **Glachant, M.**, Lévêque, F., (2025). *Survivre à la chaleur : adoptons-nous*, Odile Jacob.
- Kambach, S., Attorre, F., Axmanová, I., Bergamini, A., Biurrun, I., Bonari, G., Carranza, M.L., Chiarucci, A., Chytrý, M., Dengler, J., **Garbolino, E.**, Golub, V., Hickler, T., Jandt, U., Jansen, J., Jiménez-Alfaro, B., Karger, D.N., Lososová, Z., Rašomavičius, V., Růsiņa, S., Sieber, P., Stanisci, A., Thuiller, W., Welk, E., Zimmermann, N.E., Bruelheide, H., (2024). “Climate regulation processes are linked to the functional composition of plant communities in European forests, shrublands, and grasslands”. *Global Change Biology*, 30(2). <https://doi.org/10.1111/gcb.17189>.
- **Maïzi, N.**, **Assoumou, E.**, Millot, A., (2024). “Retrospective of prospective exercises : a chronicle of long-term modelling and energy policymaking in France”. In: Labriet, M., Espegren, K., Giannakidis, G., Ó Gallachóir, B. (eds) *Aligning the Energy Transition with the Sustainable Development Goals*. Lecture Notes in Energy, vol.101. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-58897-6_16.

- **Marquet, C.**, (2024). « Démanteler des réseaux en ruine : Câbles sous-marins et biodiversité en mer Méditerranée ». *Les Temps Qui Restent*, N°3, <https://lestempsquirestent.org/fr/numeros/numero-3/demanteler-des-reseaux-en-ruine-cables-sous-marins-de-telecommunication-et-protection-de-la-biodiversite-en-mer-mediterranee>.
- **Nana, R.T., Tadonki, C., Dokladal, P.**, Mesri, Y., (2024). "A flexible operational framework for energy profiling of programs", WAMCA2024 - 36th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, SBAC-PAD, Hilo-Hawaii, USA, November 13-15.
- **Nana, R.T., Tadonki, C.**, (2024). "Experimental study of power consumption of basic parallel programs", WAMCA2024 - 36th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, SBAC-PAD, Hilo-Hawaii, USA, November 13-15.
- **Nana, R.T., Tadonki, C., Dokladal, P.**, Mesri, Y., (2024). "Power consumption in HPC-AI systems". In: Zbakh, M., Essaïdi, M., Tadonki, C., Touhafi, A., Panda, D.K. (eds) *Artificial Intelligence and High Performance Computing in the Cloud*. CloudTech 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol.1220. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78698-3_6.
- Papastefanakis, N., Russeil, V., **Selosse, S.**, (2024). « Autonomie énergétique et alimentaire face aux tensions d’usage des sols : application à La Réunion ». *La revue de l’énergie*. N°670(1), 57-74. <https://doi.org/10.3917/ener.670.0057>.
- Rosa, F., van Bodegom, P.M., Hellweg, S., Pfister, S., Biurrun, I., Boch, S., Chytrý, M., Čuštěrevska, R., Dalle Fratte, M., Damasceno, G., **Garbolino, E.**, Lenoir, J., Ozinga, W.A., Penuelas, J., Maria Sabatini, F., Schrod, F., Uogintas, D., Byun, C., Dolezal, J., Dziuba, T., Hérault, B., Martín-Forés, I., Niinemets, U., Peyre, G., Scherer, L., (2024). "Land-use impacts on plant functional diversity throughout Europe". *Global Ecology and Biogeography*, 34: e13947. <https://doi.org/10.1111/geb.13947>.
- **Viora, L.**, Combeau, M., Pucci, M.F., Perrin, D., Liottier, P.J., Bouvard, J.L., **Combeaud, C.**, (2023). "A comparative study on crystallisation for virgin and recycled polyethylene terephthalate (PET): multiscale effects on physico-mechanical properties". *Polymers*, 15(23), 4613. <https://doi.org/10.3390/polym15234613>.
- Wamelink, G.W.W., Goedhart, P.W., Roelofsen, H.D., Bobbink, R., Posch, M., van Dobben, H.F., Biurrun, I., Bonari, G., Dengler, J., Dítě, D., **Garbolino, E.**, Jansen, J., Jašková, A.K., Lenoir, J., Peterka, T., (2024). "A novel method to estimate the response of habitat types to nitrogen deposition". *Environmental Pollution*, vol.349. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123844>.

RAPPORT ANNUEL 2024

The Transition Institute 1.5
Mines Paris - PSL
60 boulevard Saint Michel
75272 PARIS cedex 06

 www.the-transition-institute.minesparis.psl.eu
 tti.5@minesparis.psl.eu

Directrice de la publication
Nadia MAÏZI

Rapport d'activité
Claire CAUMEL, Alice SPASARO, Noémie BOICHOT et Sabrina BEKLI

Rapport scientifique
Cyrielle GAGLIO

Maquette
Alice SPASARO et Noémie BOICHOT

Photos
Couverture et pages d'ouverture : Foxe Basin, Nunavut, Canada ©USGS – Unsplash
Forum et Workshop TTI.5 : ©Frédérique Toulet

NOUS SOUTENIR

Fondation Mines Paris
60, boulevard Saint-Michel
75272 Paris Cedex 06



www.fondation.minesparis.psl.eu
fondation@minesparis.psl.eu
01 40 51 90 16