

Sciences, Environnements et Sociétés

Rapport long du groupe de travail *MakeSEnS* d’Inria

22 Octobre 2019

Préambule

Ce document est le résultat du travail du Groupe de Travail (GT) MakeSEnS, chargé par la direction d’Inria de faire des propositions pour que l’institut se saisisse des enjeux environnementaux actuels. Il propose une liste d’actions concrètes à mettre en place pour aider tant les directions nationales que l’ensemble des membres d’Inria à s’informer et à agir à tous les niveaux : individuel, équipes, services, centres, comités et commissions ainsi qu’à l’échelle de l’institut.

À propos de ce groupe de travail. Ce GT a une durée de vie limitée (de février 2019 à la publication du présent document). Ses rendus ont été livrés en plusieurs temps :

- ▷ Avril 2019 : Premières recommandations, sous la forme d’un document court (<https://intranet.inria.fr/Actualite/MakeSEns-responsabilite-environnementale-d-Inria>). Il reste d’actualité et donne les grandes lignes de l’action que nous préconisons. Il a été rendu public avant ce deuxième document pour coller au calendrier de l’institut, qui préparait son contrat d’objectifs performance (COP) avec ses tutelles.
- ▷ Mai 2019 : Présentation de nos recommandations devant le Comité de Direction d’Inria.
- ▷ Juin 2019 : Présentation aux Journées Scientifiques d’Inria à Lyon.
- ▷ Octobre 2019 : Le présent document long est plus fourni que celui d’avril sur les actions à envisager, sur les sujets de recherches à promouvoir, il contient des ressources additionnelles et tient compte de certains retours du personnel ou de la direction d’Inria depuis la diffusion du premier document. Il est diffusé à tous les membres de l’institut. Tous les commentaires sur ce document sont les bienvenus. Il est envisageable que le document évolue au cours du temps.

Parallèlement au groupe de travail s’est engagée une action de collègues Inria autour de Juliette Chabassier (BSO) afin de proposer des ajouts au texte de projet d’établissement (<https://reseau-iris.inria.fr/blog/view/158236/politique-detablissement>). Nous partageons leurs conclusions et avons essayé de prendre en compte leurs propositions dans la rédaction du document présent.

Notons également que la Direction Générale a déjà donné suite à plusieurs de nos recommandations communes :

- ▷ Un poste d’ADS (adjoint au directeur scientifique) en charge des recherches sur l’environnement a été créé et attribué à Jacques Sainte-Marie.
- ▷ Inria a créé une mission de chef de projet pour la mise en place d’une politique de Responsabilité Sociétale et Environnementale (RSE), mission rattachée à la DGD-A (Direction Générale Déléguée à l’Administration) et confiée à Céline Serrano.
- ▷ La cellule SEEnS dont nous avons recommandé la création dans notre document court d’avril et dont une spécification figure en annexe C, ne sera *a priori* pas créée sous la forme d’une commission statutaire de l’institut, mais comme une cellule plus informelle, en appui au chef de projet en charge de la mission décrite ci-dessus.
- ▷ Le nouveau COP stipule qu’Inria présentera annuellement à son Conseil d’administration les actions mises en œuvre pour réduire son empreinte carbone.

Rédacteurs : Françoise Berthoud (CNRS et GDS EcoInfo), Pascal Guitton (BSO), Laurent Lefèvre (GRA et GDS EcoInfo), Sophie Quinton (GRA), Antoine Rousseau (SAM), Jacques Sainte-Marie (PAR), Céline Serrano (DGD-A), Jean-Bernard Stefani (GRA), Peter Sturm (DGD-S et GRA), Éric Tannier (GRA).

Table des matières

1	Introduction	3
2	Pour une science de la soutenabilité	3
2.1	Sujets de recherche	5
2.2	Aspects organisationnels	7
2.3	Initiatives existantes	8
3	Pour un fonctionnement soutenable	10
3.1	Pourquoi réduire notre impact	10
3.2	Au-delà du bilan carbone : l’empreinte environnementale	11
3.3	À quel niveau démarrer cette réduction	11
3.4	Comment implémenter cette réduction en maintenant une recherche de qualité	12
3.5	Implications	14
4	Pour une science impliquée	14
4.1	Prise de recul	15
4.2	S’impliquer et impliquer	15
4.3	Une première liste d’actions	16
4.4	À propos du "caractère militant" de ce document	17
A	Liens, Références, Ressources	19
A.1	Sur les enjeux environnementaux globaux	19
A.2	Sur les enjeux de société	19
A.3	Sur les sciences impliquées	20
A.4	Sur l’impact environnemental du numérique	20
A.5	Sur la mesure de l’empreinte environnementale	20
B	Activités de recherche chez Inria en lien avec l’environnement	21
B.1	Réduction de l’empreinte écologique des technologies numériques elles-mêmes	22
B.2	Réduction de l’empreinte écologique d’autres technologies	23
B.3	Contributions à la mobilité, ville ou agriculture (dites intelligentes)	23
B.4	Production, distribution et stockage d’énergie	24
B.5	Compréhension de l’environnement	26
B.6	Autres sujets	27
C	Nos préconisations pour les missions et le fonctionnement d’une cellule Sciences - Environnements - Sociétés (SEnS) chez Inria	28
C.1	Besoin	28
C.2	Missions	28
C.3	Fonctionnement	29
D	Impact environnemental de notre groupe de travail	30

1 Introduction

La nécessité d'une action environnementale¹ urgente et à tous les niveaux n'a plus besoin d'être argumentée, tant les signaux d'alerte sur l'état de l'environnement et la dynamique de son altération se sont multipliés ces derniers mois.

Les types d'actions à mettre en œuvre en revanche font souvent débat. Nous avons souvent entendu des collègues, des amis, notre famille juger que nous ne sommes pas (individus, communauté académique, Inria) responsables de la catastrophe écologique en cours (ou du moins pas les principaux responsables) et qu'il serait donc injuste et inefficace que l'effort pèse sur nous. Si d'autres instituts comme l'Inrae² ou l'IRD ont pleine légitimité à traiter des questions environnementales, ce document met en avant le rôle qu'Inria peut et doit jouer face à ce défi sans précédent, et propose des actions concrètes de plusieurs ordres. En premier lieu, Inria doit renforcer son engagement dans la recherche sur l'environnement, comme il l'a fait dans la recherche sur le monde vivant il y a 20 ans. La recherche en informatique peut, par exemple par la modélisation, la simulation, les pratiques de partage des données et les expériences multiples de ses acteurs, contribuer à la construction d'un monde soutenable. C'est l'objet de la section 2. Deuxièmement nous pensons que notre activité doit tendre vers la soutenabilité, comme celle de toutes et tous, personnellement ou professionnellement. Il n'y a aucune bonne raison d'exempter l'activité de recherche, d'autant plus que nous faisons partie, en tant que scientifiques, des principaux lanceurs d'alerte sur l'état du monde et des prescripteurs de changements pour la soutenabilité. Il est possible de mesurer notre part de responsabilité, et sachant que certaines activités professionnelles courantes dans le milieu académique (déplacements lointains ou réguliers, consommation d'électricité...) dépassent largement les seuils de soutenabilité, nous préconisons des changements importants dans les pratiques de la recherche. C'est l'objet de la section 3. Enfin, nous ne pouvons nous limiter aux impacts de nos pratiques de recherche et devons nous interroger sur l'impact de nos recherches en général, qu'elles soient liées à l'environnement ou non. La section 4 propose des pistes pour permettre à toutes et tous d'avancer dans cette réflexion qui implique, de façon large, les relations entre les sciences et les sociétés.

Quelques annexes fournissent des informations supplémentaires. L'annexe A propose quelques liens qui permettront au lecteur intéressé d'approfondir certaines questions, de trouver des exemples d'initiatives existantes. L'annexe B présente un aperçu des recherches actuelles dans les équipes Inria (sur la base de leurs rapports d'activité de 2017) en lien avec l'environnement. L'annexe C propose une spécification détaillée des missions et du fonctionnement possibles d'un groupe de réflexion (ou commission) qui pourrait animer des actions et réflexions au sein de l'institut sur les questions soulevées (science de la soutenabilité, fonctionnement soutenable et science impliquée). Nous donnons à cet organe le nom de Cellule SEnS (pour Sciences – Environnements – Sociétés). Enfin, nous produisons à titre d'exemple un bref bilan de l'empreinte environnementale due à l'activité de notre groupe de travail dans l'annexe D.

2 Pour une science de la soutenabilité

Les enjeux environnementaux dépassent les domaines étudiés par les seules sciences environnementales (écologie, géographie, climatologie etc.). Dans la suite, nous évoquons des sujets de recherche qui sont déjà abordés chez Inria ou qui pourraient l'être. Le but n'est pas de dresser une liste exhaustive mais de donner des idées et d'ouvrir la discussion.

Avant d'aborder les thématiques scientifiques proprement dites, il nous paraît utile, voire indispensable

1. Nous utilisons le terme "environnement" pour désigner les ressources nécessaires aux conditions de vie des humains et des sociétés humaines, incluant eau, sols, biodiversité, atmosphère, climat, énergies..., et le terme "soutenable" pour des activités dont l'interaction avec l'environnement (prélèvement de ressources, pollution, rejets de gaz à effet de serre...) peut être envisagée de façon pérenne. Bien que l'expression anglaise "sustainable development" soit parfois traduite par "développement durable", également employée par les Nations Unies dans ses 17 "Objectifs Développement Durable", nous préférons une traduction qui ne prenne pas un moyen, le développement, pour une fin, la soutenabilité.

2. À compter du 1er janvier 2020, l'Inra et l'Irstea fusionneront pour créer l'Inrae, Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement.

de s'interroger sur l'idée même d'une science de la soutenabilité tant ces termes soulèvent des questions, des représentations différentes, voire des rejets.

La seule notion de soutenabilité interroge. Il est probable que la plupart des gens pensent au maintien voire à l'amélioration d'un mode ou niveau de vie. L'objectif serait-il alors de garantir un mode de vie à chaque humain à un niveau au moins égal à son niveau actuel (sans forcément tenter de réduire les inégalités actuelles), ou bien de viser un niveau de vie "universel" qui soit en plus soutenable ? Les implications ne sont pas du tout les mêmes. Qu'entend-t-on par exemple par "mobilité durable" dans ce contexte ?

L'objet ici n'est pas d'imposer une représentation mais d'inciter chacun-e à se questionner sur les objectifs qui lui sont importants. En effet, la clarification du ou des objectifs peut souvent orienter le choix des questions de recherche puis des partenaires avec qui aborder ces dernières.

Il nous paraît illusoire de trouver un consensus sur cette question. Dans la suite, sont donc uniquement décrits quelques objectifs potentiels qu'on peut se donner pour sa recherche et son activité en général – en invitant donc chacun-e (individus, équipes, institut, etc.) à réfléchir sur cet aspect.

D'aucuns peuvent être directement attachés à la préservation de "la nature", pour des raisons esthétiques, éthiques, spirituelles ou autres qui sont indépendantes de considérations sur les sociétés humaines. On peut être soucieux de "la nature" afin de préserver les services qu'elle rend aux humains. Comme suggéré plus haut, cela peut regrouper différentes attitudes : préservation ou même augmentation du mode de vie de "ma société" (mon pays, ma classe socio-professionnelle, etc.), du mode de vie de "tout le monde", voire harmonisation des modes de vie (vers le haut ou non). Les ODD (Objectifs de Développement Durable) des Nations Unies par exemple³, visent globalement des objectifs de cette nature, même s'ils sont parfois contradictoires entre eux. Il est possible que les 17 ODD soient utilisés comme une matrice structurant la recherche publique sur les questions environnementales et afférentes, en France⁴ et ailleurs ; il convient donc d'en avoir connaissance. Il nous apparaît également important d'exercer notre rôle de critique constructif à leur égard et à leurs angles morts. Par exemple, les ODD visent bien une augmentation du niveau de vie (mesuré selon l'étalon occidental) des pays dits en voie de développement, mais ne remettent pas en question le mode de vie occidental. Nous n'avons pas connaissance d'études qui montreraient qu'atteindre les ODD est compatible avec les limites planétaires, donc qu'ils sont soutenables.

Si certains peuvent être convaincus qu'un développement soutenable est encore possible, d'autres pensent que l'humanité a déjà dépassé un point de non-retour et que même en déployant des efforts gigantesques rapidement des pans entiers de l'humanité seront amenés à connaître de grandes souffrances. Ce point de vue peut donner lieu à des réactions et actions très diverses. Agir par devoir, agir pour réduire ces souffrances pour le plus grand nombre (par exemple en favorisant la résilience d'une organisation sociotechnique au lieu de sa performance maximale), ou encore afin de préparer "l'après" (par exemple en développant des technologies frugales dans cet esprit).

Cette discussion n'a pas vocation à stigmatiser une attitude ou une autre, mais à ouvrir l'espace de réflexion de chacun-e sur la question des objectifs de sa recherche, réflexion que tout-e scientifique devrait mener de temps en temps. Les points de vue esquissés ne sont évidemment pas exhaustifs – on peut penser aussi à des objectifs de justice sociale, démocratie, impact économique etc. Prendre du recul sur ses objectifs, outre le désir de faire avancer la connaissance, de jouir de la reconnaissance par les pairs de sa discipline et ainsi de suite, est généralement indispensable en recherche et l'est d'autant plus face aux enjeux actuels. Ces questions sont développées dans la section 4, voir aussi des références⁵ qui les formalisent pour ce qui est des recherches sur le développement durable.

3. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>

4. Voir par exemple *Feuille de route de la France pour l'Agenda 2030*, <https://www.agenda-2030.fr/actualites/feuille-de-route-de-la-france-pour-lagenda-2030-368>.

5. Schneider et al. : *How can science support the 2030 Agenda for Sustainable Development? Four tasks to tackle the normative dimension of sustainability*, Sustainability Science, 2019, <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00675-y>
Kläy et al. : *Rethinking science for sustainable development : Reflexive interaction for a paradigm transformation*, Futures, 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2014.10.012>

Dans la suite, nous abordons la question des sujets de recherche⁶ pertinents pour Inria, avant de discuter également quelques aspects plus organisationnels.

2.1 Sujets de recherche

Les objectifs ci-dessus peuvent se décliner en différents types de questions de recherche (et d'innovation). Comment réduire l'empreinte environnementale d'une technologie donnée ? Comment remplacer une technologie par une alternative moins impactante ? Quelles sont les causes profondes ou structurelles des impacts environnementaux et comment les réduire ? Comment organiser différemment un système sociotechnique pour réduire son empreinte, sa dépendance à des imports, augmenter sa résilience, etc. ? Et ainsi de suite.

Illustrons cela sur l'exemple des technologies du numérique elles-mêmes comme "domaine d'application". Le concept du *Green IT* englobe diverses préoccupations⁷ mais il est probablement juste de dire que la plupart des recherches jusqu'à maintenant visent la réduction de la consommation énergétique du fonctionnement d'un logiciel ou matériel informatique : comment compiler un programme pour que son exécution coûte le moins d'énergie possible, comment organiser des calculs sur un cluster dans le même but, comment factoriser des codes CSS pour réduire la consommation énergétique liée à l'affichage d'une page web, etc. ? Des mots clés tels que "IA frugale" ou "blockchain low-cost" commencent à apparaître. Moins abordée jusqu'à maintenant, du moins au sein d'Inria, est la question de concevoir et construire des équipements informatiques tout en consommant le moins de ressources possibles (matériaux, énergie) ou, de manière plus générale, sur l'analyse du cycle de vie complet de ces équipements, y compris en termes de fabrication, réparation, mise à jour, fin de vie, recyclage.

Si à première vue la réduction de l'empreinte environnementale d'une technologie est forcément bénéfique, on ne peut désormais plus ignorer la question des effets rebond et induits. On est en présence d'un effet rebond si par exemple la réduction de la consommation énergétique d'un service ne conduit pas à la baisse espérée de la consommation d'énergie totale. En effet, la réduction initiale peut inciter les usagers à une utilisation accrue du service lui-même ou d'autres services, diminuant voire anéantissant au final le gain obtenu⁸.

Les effets induits sont potentiellement très divers et peuvent être de nature non technique. Citons divers types d'addiction aux nouvelles technologies, avec des impacts énormes pour les individus concernés et la société. Autre exemple : la perte de certains savoirs-faire et semences induite par l'agriculture industrielle, ainsi que la position de dépendance technologique et économique des agriculteurs.

De manière générale, il nous paraît essentiel que des recherches en lien avec l'environnement soient doublées d'une interrogation critique sur les possibles effets rebond et induits. Ils ne sont évidemment pas facilement prévisibles, mais ne pas y consacrer un minimum de réflexion ne nous semble plus une option. Ces réflexions peuvent par ailleurs donner lieu à des questions de recherche à part entière, pour les sciences du numérique ou d'autres sciences (SHS typiquement).

Revenons au cœur de métier du numérique. Ce dernier participe à différents types d'activités, que ce soit en science ou au sein d'applications : mesurer, analyser, modéliser, comprendre – structurer, organiser, optimiser – simuler, prédire, aider à la décision – etc. Beaucoup de recherches visant à réduire l'empreinte environnementale des activités humaines et/ou à atteindre une forme de soutenabilité, ciblent des domaines d'application ou secteurs économiques particuliers. D'autres en sont indépendants et/ou abordent un traitement holistique, par exemple en modélisant des systèmes sociotechniques entiers.

La suite de cette section est structurée selon les domaines d'application, y compris d'autres sciences.

Contributions à d'autres sciences. Les sciences environnementales sont bien évidemment un "champ d'application" primordial pour nos préoccupations. Le numérique y joue un rôle crucial : il facilite les me-

6. L'ouvrage *Computing Research for Sustainability* du NRC (National Research Council, USA, 2012), téléchargeable sur <https://www.nap.edu/initiative/committee-on-computing-research-for-environmental-and-societal-sustainability>, peut aussi être une lecture utile pour trouver des idées de sujets de recherche.

7. https://fr.wikipedia.org/wiki/Informatique_durable

8. Voir quelques exemples en informatique sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Informatique_durable et cette référence avec une multitude d'autres exemples : David Owen, *Vert paradoxe*, Ecosociété 2013

sures, analyses, modélisations, la compréhension et donc le développement de nouvelles connaissances. Une deuxième fonction essentielle concerne la simulation en vue de prédire, aider à la décision, etc. Souvent, ces connaissances servent à évaluer les impacts environnementaux des activités humaines ou à prédire leur évolution.

Le secteur du numérique lui-même. Une question clé est naturellement celle de réduire les impacts environnementaux directs du numérique (*hardware*, logiciels, stockage de données, réseaux, etc.), sans oublier les effets rebond et induits. Le numérique est aujourd'hui un important facteur d'obsolescence d'autres technologies – comment contrecarrer cela? Cela pose des questions concernant la conception des systèmes mais également d'ordre sociologique et économique : comment inciter à un usage raisonné des technologies numériques et autres, quel modèle économique proposer en adéquation avec des objectifs de durabilité (des produits), de réparabilité, de frugalité matérielle et des usages?

Énergie. Le numérique participe à des efforts de "transition énergétique", de manières très diverses. Dans la conception ou l'optimisation de sources d'énergie (à base de biomasse, éolien, hydro, etc.), à travers des activités de modélisation, simulation, optimisation numérique, etc. Dans la distribution et le stockage de l'énergie. Dans le suivi ou la prévision de la consommation finale. Il y a beaucoup de possibilités pour l'application de techniques d'analyse de données, de modélisation stochastique, d'aide à la décision etc. Comme toujours, il y a lieu de prendre en compte les effets rebond – le domaine de l'énergie est celui où ce concept a été théorisé en premier et se prête peut-être le mieux, avec celui des transports, à une étude formelle de ces effets. D'autres questions de recherche peuvent porter sur l'évaluation des risques (de ruptures d'approvisionnement, d'arrêts forcés de centrales, etc.) ou encore sur la modélisation à long terme des enjeux énergétiques : modélisation intégrée des évolutions possibles en termes de ressources nécessaires pour la production d'énergie⁹, face à des objectifs de soutenabilité et résilience à définir et des contraintes données par les changements climatiques, les pollutions, etc.

Mobilité et transports. C'est également un domaine clé, de par ses impacts significatifs sur le climat, la biodiversité (*e.g.* fragmentation des écosystèmes due aux voies de transport), les pollutions qu'il crée. Mais également parce qu'il est imbriqué avec la sur-consommation généralisée (sans transport "pas cher", nous n'aurions pas le même niveau de mondialisation), l'étalement urbain, les modes de vie en général, etc. Des équipes chez Inria travaillent déjà sur la modélisation voire le contrôle du trafic routier, sur l'auto-partage, le véhicule autonome et connecté, etc. Bien souvent, l'optique ici est de réfléchir à la satisfaction ou amélioration d'une demande en transport existante (en termes de temps de trajet, d'émissions CO₂, etc.). Il serait intéressant de mener des efforts de modélisation à long terme, prenant en compte les potentiels effets rebond dus à la fluidification du trafic ou à la facilitation des déplacements, effets identifiés dans ce domaine sans aller jusqu'à en prendre la mesure complète. Une question ouverte concerne les raisons profondes d'un besoin de mobilité et de transport – peut-on aller au-delà de l'optimisation des transports existants et travailler sur la réduction de la demande initiale? Cela pose des interrogations interdisciplinaires touchant l'urbanisation, l'économie ou encore l'organisation du travail.

Agro-alimentaire. Il s'agit d'un autre domaine majeur, central évidemment pour la société humaine et important à cause des différents impacts environnementaux qu'il cause. Des recherches dans le numérique peuvent jouer un rôle à différents niveaux, par exemple en contribuant à l'étude de l'érosion des sols et de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture, à l'étude de la croissance des plantes et de leur adaptation aux nouvelles conditions climatiques. Le numérique peut contribuer à optimiser l'agriculture conventionnelle, ses rendements ou la consommation de différents intrants (par exemple pesticides), l'organisation de fermes, de chaînes de transformation agro-alimentaires, etc. Il y a également un fort potentiel à contribuer à des modèles alternatifs (agroécologie, permaculture, etc.), *via* des outils de partage de connaissances, d'analyse de données, de modélisation, etc¹⁰. Comme ailleurs, il nous semble primordial de compléter les recherches par des investigations dans les effets rebond et induits, ainsi que de la question du passage à l'échelle. Dispose-t-on de suffisamment de ressources pour généraliser des solutions d'agriculture numérique? Quels sont les bénéfices directs et les potentiels inconvénients, comme par exemple, une dépendance accrue

9. En s'inspirant par exemple de : Olivier Vidal, *Matières premières et énergie*, ISTE 2018.

10. Voir par exemple <https://raghavan.usc.edu/papers/agroecology-chi16.pdf>.

à des technologies complexes ?

Autres domaines d'application. De nombreux autres domaines d'application existent, où des questions similaires sont facilement identifiables, par exemple en ce qui concerne les logements, la fabrication d'objets, la modélisation économique ou la finance, etc.

Réflexions holistiques. Beaucoup de questions listées ci-dessus visent à comprendre, prévoir, réduire les impacts environnementaux de différents pans de l'activité humaine. Cela est utile voire nécessaire, mais pas suffisant si l'objectif global est de contribuer à une forme de soutenabilité de la société humaine (voir plus haut). Pour y arriver, une réflexion plus holistique est nécessaire. Il faut aborder les liens entre toutes les facettes de l'activité humaine ; bien entendu à un niveau d'analyse approprié (en termes de complexité, d'échelle, de disponibilité de données, etc.). L'absence d'une telle réflexion holistique peut empêcher de remonter aux causes profondes des problèmes environnementaux (et sociaux) et de comprendre les dynamiques complexes d'un système socio-technico-environnemental, et conduire à travailler uniquement sur des "symptômes".

Le numérique a un rôle important à jouer ici, que ce soit pour contribuer à concevoir de tels modèles *a priori* complexes, à les analyser, à les utiliser à des fins de prospective – outre des questions liées aux modèles eux-mêmes, on peut aisément entrevoir des besoins en interaction homme-machine, en visualisation, en conception collaborative, ... Les questions de recherche ne manquent pas : comment caractériser/évaluer la soutenabilité à long terme d'un système socio-technico-environnemental (global ou local), comment en étudier la résilience à des chocs, comment aider la société à s'approprier ces questions et en débattre de manière démocratique ?

2.2 Aspects organisationnels

Travailler sur ces sujets implique au moins une activité multidisciplinaire voire idéalement inter- ou transdisciplinaire¹¹. On sait que cela demande en général (beaucoup) plus de temps qu'une recherche monodisciplinaire et que souvent des compromis entre excellence disciplinaire et pertinence pour une problématique applicative sont nécessaires. Si les retombées de recherches interdisciplinaires peuvent être très diverses et riches, elles ont souvent lieu à long terme. D'où l'importance de faciliter le démarrage et d'accompagner ces recherches et leurs auteur·e-s.

Comme nous l'avions recommandé dans notre premier rapport, Inria a déjà décidé de créer un poste d'ADS (adjoint au directeur scientifique) spécifiquement en charge des questions environnementales. Cet ADS sera bien placé pour animer les recherches en question chez Inria, fédérer une communauté, aider les équipes à trouver des partenaires, être un interlocuteur pour des chercheur·e-s ou équipes en quête de reconversion thématique. Il aura également un rôle important dans l'animation des relations d'Inria avec d'autres institutions pertinentes, académiques, industrielles ou issues de la société civile ; relations qui alimenteront nos questions de recherche, les partenariats interdisciplinaires, les données, etc., et qui permettront de diffuser nos contributions auprès des acteurs.

Faciliter voire encourager des recherches interdisciplinaires nécessite également des leviers au niveau du recrutement et de l'évaluation. Au cours des deux dernières décennies, Inria a connu une inflexion concernant la prise en compte des transferts industriels dans l'évaluation des chercheur·e-s et des équipes. Nous sommes en faveur d'un changement similaire au sujet de l'interdisciplinarité ainsi qu'à des formes nouvelles de recherche (recherche-action¹², recherche participative¹³). Enfin, même si cela reste inhabituel chez Inria, nous pensons qu'un fléchage de postes ou des recrutements ciblés (par exemple au niveau DR) permettrait d'augmenter notre capacité d'agir face aux enjeux environnementaux.

11. Voir par exemple le texte suivant pour une définition de ces termes : <https://web.univ-pau.fr/RECHERCHE/CIEH/documents/La%20confusion%20des%20genres.pdf>

12. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Recherche-action>

13. https://sciencescitoyennes.org/wp-content/uploads/2014/10/Synth%C3%A8se_Rapport_FdF_FSC.pdf

2.3 Initiatives existantes

Cette section fournit quelques pointeurs vers des initiatives qui ciblent des sujets de recherche tels que ceux décrits plus haut. Elle donne également une liste de partenaires potentiels en France ainsi que des liens vers des manifestes rédigés par des chercheur-e-s ou des étudiant-e-s, qui peuvent nourrir la réflexion.

Des communautés scientifiques, dans le monde du numérique, qui visent à contribuer face aux enjeux environnementaux, commencent à voir le jour. Citons l'initiative *Computing within limits*¹⁴, une communauté de chercheur-e-s en sciences du numérique qui organise des *workshops* visant à « foster research on the impact of present or future ecological, material, energetic, and/or societal limits on computing and computing research to respond to such limits. » Des sessions spéciales qui abordent des questions environnementales sont régulièrement organisées au sein des conférences d'IA et autres, par exemple en 2019 : Ateliers *Tackling Climate Change with ML* à NeurIPS, *Climate Change : How Can AI Help ?* et *AI For Social Good* à ICML. L'institut de *Computational Sustainability*, voir plus bas, a organisé plusieurs éditions d'une conférence du même nom. Des exemples de ce type vont sans doute se multiplier ; leur existence permettra à des scientifiques en quête d'une éventuelle reconversion thématique de trouver un point de départ.¹⁵

Il existe dans le monde plusieurs instituts interdisciplinaires, adossés ou non à des universités, où des questions en lien avec nos préoccupations sont étudiées, par exemple :

- ▷ **Campus de la Transition**¹⁶ : « aims to be a unique and innovative academic milieu that brings together academics, researchers and businesses people ; as well as public institutions and the general public. This intersection of peoples is gathered around our group of internationally recognized experts on ecological and social transition. »
- ▷ **Institute for Computational Sustainability**¹⁷ à Cornell University, en partenariat avec d'autres universités américaines ainsi que le Computational Sustainability Network¹⁸ sponsorisé par la NSF.
- ▷ **The Earth Institute**¹⁹ à Columbia University, dont la mission est de « blend research in the physical and social sciences, education and practical solutions to help guide the world onto a path toward sustainability. »
- ▷ **Stockholm Resilience Center**²⁰, qui formule sa vision ainsi : « The vision of the centre is a world where social-ecological systems are understood, governed and managed, to enhance human well-being and the capacity to deal with complexity and change, for the sustainable co-evolution of human civilizations with the biosphere. »
- ▷ **Santa Fe Institute**²¹ : « We are creating dynamic models for understanding why some human societies are more unequal than others. From relatively egalitarian foragers to modern agricultural societies, we are investigating the broad spectrum of societal structures that underpin wealth dynamics. »

En France, il existe des communautés informelles comme par exemple l'**atelier d'écologie politique**²², collectif local qui « souhaite participer à la construction, à Toulouse et en région Occitanie, d'une communauté pluridisciplinaire de scientifiques travaillant ou réfléchissant aux multiples aspects liés aux bouleversements écologiques. »

Plus institutionnellement, on peut citer :

14. Voir <http://computingwithinlimits.org> ou l'article Nardi *et al.*, *Computing within Limits*, Communications of the ACM 2018, <http://dx.doi.org/10.1145/3183582>.

15. Toutes ces initiatives n'ont bien sûr pas la même pertinence en terme environnemental. Sans juger des bonnes intentions qui les conduisent, certains efforts peuvent tout d'abord être motivés par une volonté de continuer à travailler sur ses sujets de recherche, au risque de contribuer à du *green-washing*. Il faudra faire attention à les évaluer du point de vue des objectifs affichés.

16. <https://campus-transition.org/en/home/>

17. <http://computational-sustainability.cis.cornell.edu/>

18. <http://www.compsust.net/>

19. <https://www.earth.columbia.edu/>

20. <https://www.stockholmresilience.org/>

21. <https://www.santafe.edu/>

22. <https://atecopol.hypotheses.org/manifeste-de-latelier-decologie-politique-toulousain>

- ▷ **École Urbaine de Lyon**²³ : « L'École Urbaine de Lyon entend ainsi accompagner la transition sociale, écologique et économique dans laquelle sont engagées les sociétés et les territoires à l'échelle planétaire. Il s'agit de contribuer à l'élaboration d'un nouveau mode collectif d'appréhension des problématiques urbaines et environnementales, et de repenser les rapports que peuvent entretenir universités, laboratoires de recherche, entreprises, collectivités territoriales, administrations publiques, associations et citoyens dans un contexte urbain en perpétuelle mutation. »
- ▷ **IDDR**²⁴(Institut du Développement Durable et des Relations Internationales) : « Institut indépendant de recherche sur les politiques et plateforme de dialogue multi-acteurs, l'Iddri identifie les conditions et propose des outils pour placer le développement durable au cœur des relations internationales et des politiques publiques et privées. »
- ▷ **AllEnvi**²⁵(Alliance nationale de recherche pour l'environnement) : « AllEnvi fédère, programme et coordonne la recherche environnementale française pour relever les grands défis sociétaux de l'alimentation, de l'eau, du climat et des territoires. »
- ▷ **ANCRE**²⁶ (Alliance Nationale de Coordination de la Recherche sur l'Énergie) : ANCRE rassemble 19 organismes de recherche et innovation et conférences d'établissements d'enseignement supérieur dans le domaine de l'énergie.
- ▷ **AgroPariTech** a créé une chaire de comptabilité écologique²⁷.

Ou certains instituts ou agences spécialisés comme :

- ▷ **ADEME**²⁸ (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) : « participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable ... aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire. »
- ▷ **AFD**²⁹ (Agence française de développement) : « finance, accompagne et accélère les transitions vers un monde plus juste et durable. Climat, biodiversité, paix, éducation, urbanisme, santé, gouvernance... »
- ▷ **CEREMA**³⁰ (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) : un établissement public tourné vers l'appui aux politiques publiques, placé sous la double tutelle du ministère de la transition écologique et solidaire et du ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales.
- ▷ **CIRAD**³¹ : l'organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes.
- ▷ **Inrae**³², Institut National de la Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement.
- ▷ **IRD**³³ (Institut de Recherche pour le Développement) : « À l'avant garde de "la science de la durabilité", les recherches de l'IRD trouvent d'abord leur source dans la confrontation aux problèmes du monde réel, des écosystèmes et des sociétés, plutôt qu'à la dynamique propre des disciplines scientifiques qu'elle mobilise. »

23. <https://ecoleurbainedelyon.universite-lyon.fr/presentation/>

24. <https://www.iddri.org/fr>

25. <https://www.allenvi.fr>

26. <https://www.allianceenergie.fr/missions-et-objectifs/4-missions/>

27. <https://www.chaire-comptabilite-ecologique.fr/la-chaire/>

28. <https://www.ademe.fr/>

29. <https://www.afd.fr/fr>

30. <https://www.cerema.fr/fr>

31. <https://www.cirad.fr/>

32. Futur site web : <http://www.inrae.fr/>. Pour le moment, on peut encore consulter les sites de l'Inra et de l'Irstea, <http://www.inra.fr/> et <https://www.irstea.fr/fr>.

33. <https://www.ird.fr/>

Le CNRS vient également de se doter d'une "taskforce" sur les ODD pilotée par l'Institut Écologie et Environnement et qui a pour premier objectif de cartographier les actions au sein du CNRS en lien avec les ODD.

Au sein d'Inria, l'équipe-projet STEEP³⁴ basée à Grenoble, se dédie complètement aux questions de la soutenabilité. Beaucoup d'autres équipes abordent divers sujets de recherche ou domaines d'application ayant trait aux questions environnementales, voir l'annexe B.

Pour conclure cette section, voici une liste de manifestes qui témoignent d'un intérêt grandissant pour les thématiques environnementales, que ce soit au sein de la communauté scientifique ou auprès des étudiants, de plus en plus préoccupés :

- ▷ World Scientist's Warning of a Climate Emergency³⁵
- ▷ Des chercheur·e·s appellent à la grève climatique mondiale³⁶
- ▷ Collectif Labos 1point5³⁷ : « Face à l'urgence climatique : transformer la recherche collectivement »
- ▷ Tribune des trois Conférences (universités, grandes écoles et écoles d'ingénieurs) en faveur du climat³⁸ et une réponse critique formulée par l'Atelier d'écologie politique³⁹
- ▷ Manifeste étudiant pour un réveil écologique⁴⁰
- ▷ Sciences Po pour le climat⁴¹
- ▷ « Les X répondent à l'urgence climatique » : le 7 juin 2019, l'École polytechnique a organisé un colloque international pour le développement durable⁴². Pour les élèves de l'École, l'urgence climatique est un défi à relever. Dans cette vidéo⁴³ qu'ils ont réalisée, ils s'engagent.

3 Pour un fonctionnement soutenable

3.1 Pourquoi réduire notre impact

La soutenabilité consiste à ne pas prélever plus de ressources que ce que notre environnement peut produire, ne pas produire plus de déchets que ce qu'il peut absorber, ne pas émettre plus de polluants que nous ne pouvons en absorber en restant en bonne santé, et que l'environnement ne peut en absorber sans contribuer au réchauffement climatique. L'objectif de soutenabilité concernant le cycle du carbone est inscrit dans la loi française (objectif neutralité carbone en 2050), dans les directives européennes, dans les accords internationaux (COP 21).

L'humanité a longtemps fonctionné avec des frontières plutôt qu'avec des limites. Elles étaient toutes faites pour être dépassées par l'innovation, la technologie, la recherche de nouvelles ressources, de nouvelles sources d'énergie. Aujourd'hui nous sommes face aux limites de la planète⁴⁴, en particulier en ce qui concerne le climat, la biodiversité et la pollution. Des efforts sont sans cesse entrepris pour augmenter la capacité de la Terre, *via* la captation de carbone, la géo-ingénierie, mais les résultats sont si dérisoires ou résolument dangereux, les déséquilibres s'accumulent tellement sur tous les fronts qu'il est raisonnable aujourd'hui de considérer le partage de la Terre plutôt que son extension perpétuelle.

L'activité de la recherche scientifique ne peut s'abstraire de ces contraintes de soutenabilité, sous peine d'en infliger de pires aux autres secteurs d'activité ou d'établir une dette pour les générations futures. Nous

34. <https://team.inria.fr/steep/>

35. <https://scientistwarning.forestry.oregonstate.edu/>

36. Lien vers un article dans Le Soir

37. <https://labos1point5.org/>

38. <http://www.cdefi.fr/fr/actualites/tribune-des-trois-conferences-en-faveur-du-climat>

39. <https://lundi.am/Engagement-de-l-enseignement-superieur-et-la-recherche-en-faveur-du-climat>

40. <https://pour-un-reveil-ecologique.fr>

41. <https://www.facebook.com/sciencespopourleclimat/>

42. Lien vers un article dans Le Parisien

43. <https://www.youtube.com/watch?v=VJhZULJo1EA>

44. Will Steffen *et al.*, *Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet*, Science 347(6223), 2015.

préconisons donc de devenir aussi rigoureux avec notre budget environnemental qu’avec notre budget financier, afin de ne pas contribuer à l’accumulation des déséquilibres. Notre préconisation est donc d’entreprendre un processus de suivi de notre empreinte environnementale et une estimation de notre budget environnemental afin d’atteindre cette soutenabilité.

Quelques calculs simples permettent de se convaincre qu’un tel processus implique une réduction drastique de notre empreinte. Pour ne prendre qu’un exemple, un voyage Paris–New-York aller-retour représente un équivalent de 2.6t de CO₂ émises (selon la base carbone de l’Ademe⁴⁵) et 4 heures d’utilisation d’Internet par jour travaillé émettent 0.4t supplémentaires annuellement⁴⁶. Les engagements de la France lors des accords de Paris promettent des émissions de CO₂ limitées à 2t par habitant en 2050, toutes activités comprises. Nous ne voulons pas préjuger de l’importance d’un voyage transatlantique pour la recherche scientifique ni de la façon de calculer un budget carbone pour les activités de recherche, qui devra être décidée de façon collective. Néanmoins, ces ordres de grandeur nous montrent que nous ne pouvons poursuivre notre mode de fonctionnement actuel sans tenir compte de cette limite.

Nous proposons des outils de mesure et préconisons la diminution de l’empreinte environnementale de l’institut, avec l’objectif de pratiquer une recherche soutenable. Cela a évidemment des déclinaisons et des dimensions multiples. Il existe une diversité d’impacts possibles (déchets, pollution, prélèvements de ressources), d’acteurs possibles (personnel, équipes, services, centres, syndicats, direction), de postes de diminution possibles (transport, bâtiment, matériel, énergie, alimentation). Une première étape peut être un bilan carbone de l’institut qui serait réalisé en interne ou par un tiers de confiance.

3.2 Au-delà du bilan carbone : l’empreinte environnementale

L’empreinte environnementale n’est pas synonyme de bilan carbone. Certaines pressions sur les ressources (eau, déforestation, pêche. . .) ou certaines pollutions (énergie nucléaire) n’ont pas forcément d’impact direct fort sur les émissions de CO₂. L’environnement est à considérer dans sa globalité.

L’institut devra se doter des outils pour établir un bilan environnemental complet, à l’image du *Global Footprint Network*⁴⁷ qui prend en compte la multidimensionnalité de cette question. La plupart des calculs faits jusqu’à ce jour se restreignent aux émissions de CO₂, parce que les outils sont plus facilement disponibles et les calculs grossiers plus facilement menés jusqu’au bout. Bien que plus difficiles, des considérations plus englobantes sont possibles. En tant qu’organisme de recherche, nous devons nous donner les moyens de construire un bilan global, à la hauteur des enjeux auxquels nous sommes confrontés.

3.3 À quel niveau démarrer cette réduction

Les propositions d’actions de notre premier document ont été débattues à différentes occasions. Un argument récurrent opposé à ces propositions est celui du caractère négligeable d’une action à notre niveau (individuel ou institutionnel) par rapport à l’enjeu. Le faible impact de gestes individuels est souvent pointé, de même que la culpabilisation inutile de certains comportements pollueurs, le fait que la recherche scientifique n’est pas une activité polluante par rapport à d’autres secteurs bien identifiés, ou que la France ne représente que peu d’émissions carbone par rapport à la Chine ou aux États-Unis. Ou alors, à l’inverse, en pointant l’inutilité d’une action collective tant que chacun-e ne fait pas les gestes individuels préconisés.

Face à ce débat, il est possible de se doter des outils pour qualifier et quantifier la responsabilité des activités de recherche, à tous les niveaux, individuel ou institutionnel – et nous préconisons des actions à tous ces niveaux.

Certaines actions relèvent de gestes individuels, même si nous les savons insuffisants et parfois difficiles. À défaut d’impact fort, de telles actions peuvent être utiles à chacun-e pour s’appropriier les questions

45. <http://bilans-ges.ademe.fr>, sur la base de 12000km dans un avion de plus de 250 passagers.

46. Sur la base de 218 jours travaillés, et selon l’estimation d’émissions par heure de Carbonalyser du Shift Project.

47. <https://www.footprintnetwork.org/>

environnementales, sensibiliser son entourage et mettre son comportement individuel en accord avec l'action collective qu'il souhaite voir advenir.

La plupart des actions que nous préconisons nécessitent une action collective, entreprise par les représentants et les dirigeants. C'est principalement sur ces actions collectives que nous comptons. Dans les actions collectives, l'institut n'est pas isolé et n'entreprend pas ces actions seul, ni nationalement ni internationalement. Il existe plusieurs mouvements, à l'échelle des universités, des instituts, des nations ou à l'échelle internationale, pour entreprendre la réduction que nous préconisons. Nous participerons donc à un mouvement susceptible d'avoir de l'impact. Il s'agit de participer, de donner l'exemple et de fédérer autour de ces initiatives.

Ces catégories d'actions (individuelles ou collectives) et d'impact sont largement interdépendantes. La demande influe sur l'offre et inversement. Nous bénéficions largement des industries chinoise et américaine en important leurs produits, par conséquent nos actions ont de l'influence au-delà de notre environnement direct. Un fonctionnement soutenable d'individus ou de structures appelle une société soutenable. Tous les niveaux de responsabilités sont à mobiliser, afin d'actionner des rétroactions vertueuses.

3.4 Comment implémenter cette réduction en maintenant une recherche de qualité

Transports professionnels. La principale préconisation est une baisse de la mobilité professionnelle (conférences, congrès, séminaires, collaborations). Plusieurs études dans de grandes universités mondiales (EPFL, UBC ...) montrent que la qualité de la recherche n'est pas nécessairement amoindrie, et plusieurs de ces grandes universités commencent à promouvoir une baisse de la mobilité (Université de Genève). Cette baisse pourra par exemple être implémentée par les moyens suivants.

1. Réévaluer la mobilité dans les besoins de l'activité scientifique : étudier les nécessités des collaborations distantes, des congrès lointains.
2. Encourager les collaborations locales, éventuellement mêlant plusieurs domaines ou disciplines, plutôt que les collaborations internationales sur des sujets pointus. Valoriser l'éloignement thématique plutôt que l'éloignement géographique.
3. Promouvoir les outils numériques de communication, d'échange et de partage de documents permettant de limiter les déplacements (conférences distantes interactives⁴⁸, webinaires...). Accompagner ces outils par des formations / documentations à la prise en main.
4. Adopter des modes de publication qui restreignent les déplacements (conférences locales, revues).

Il est d'ores et déjà possible d'étudier la transition des modes de déplacement vers des moyens de transport moins polluants, par exemple selon les consignes suivantes.

1. Inclure dans la politique voyage d'Inria des considérations environnementales qui se traduiront sur l'outil de proposition de voyages (Oreli). Par exemple, décourager les vols intérieurs, en particulier s'il existe une alternative en train.
2. Revoir les besoins concernant le parc professionnel de véhicules, pour adapter les solutions aux critères environnementaux au fur et à mesure du renouvellement. Envisager de ne pas renouveler un véhicule, choisir un véhicule moins polluant s'il est décidé de le renouveler.

Transports domicile-travail. Tous les centres, éventuellement en collaboration avec le tissu économique local, doivent se doter d'un plan de déplacement d'entreprise (PDE) ou d'administration favorisant les

48. Voir par exemple le *Sommet virtuel du climat* (<https://sommetvirtuelduclimat.com/le-projet/>), la *World's First Bridging Transportation Researchers Online Conference* (<https://bridgingtransport.wordpress.com/>), le Forum Numérique organisé en 2017 à l'occasion des 50 ans de l'Inria (<https://www.inria.fr/centre/lille/recherche/evenement/forum-numerique-2017/forum-numerique-2017>) ainsi que le *White paper : A nearly carbon-neutral conference model* : <http://hiltner.english.ucsb.edu/index.php/ncnc-guide/>

transports doux (forfaits kilométriques pour les cyclistes, remboursement des abonnements de transports en commun à un taux supérieur à 50%, organisation du covoiturage, ...).

Bâtiments.

1. Étudier à chaque construction ou rénovation, en plus des normes environnementales, la possibilité d'utiliser des matériaux écologiques, d'isoler mieux, de produire de l'énergie et se chauffer (solaire), de végétaliser des surfaces, de réserver des espaces à la plantation d'arbres, au jardinage, à la biodiversité et à des parkings à vélos.
2. Avoir une action ou une incitation plus large sur les campus dans lesquels sont implantés les bâtiments : plantations d'arbres, respect des espaces végétalisés, de la biodiversité.

Matériel. Comme pour la mobilité, la préconisation principale est celle de la sobriété : acheter moins de matériel. À cette fin, on pourra employer les moyens suivants.

1. Réduire le nombre d'équipements par utilisateur (moins d'écrans, moins d'ordinateurs, moins de téléphones).
2. Préférer la réutilisation d'équipements à l'achat d'un nouvel équipement.
3. Systématiser l'achat d'extension de garantie d'au moins 5 ans pour tous les ordinateurs et 7 ans sur les serveurs.
4. Ne pas acheter d'ordinateur pour écouler un budget et anticiper les besoins éventuels futurs.

Pour les achats nécessaires, il faudra aussi :

1. Inclure des critères environnementaux pour au moins 15% de la note globale dans les appels d'offre pour tous les achats.
2. Mettre en place un dispositif permettant la prolongation de l'utilisation des équipements (inventaire adapté, réparation, réutilisation).
3. Contrôler le processus interne de mise au rebut des équipements et veiller à la filière de recyclage choisie.

Alimentation. Il devient de plus en plus clair que l'alimentation est un des postes importants de la pollution, rivalisant avec le bâtiment, le transport et l'utilisation directe de l'énergie. Ce point est délicat parce qu'une grande partie de l'alimentation n'implique pas le milieu professionnel, sur lequel nous nous cantonnons ici. Pourtant le milieu professionnel est impliqué dans l'alimentation par l'organisation d'événements sociaux, festifs, congrès, et dans la subvention aux déjeuners *via* les tickets restaurants et les restaurants professionnels. Cet impact est loin d'être négligeable et nous préconisons les actions suivantes.

1. Favoriser systématiquement dans l'organisation des événements les restaurateurs proposant des produits locaux, de saison, à faible teneur en produits issus de l'élevage, en particulier bovin et ovin, proposant la livraison en transports doux et la ré-utilisation ou le recyclage des ustensiles. Mettre à jour un répertoire dans chaque centre pour permettre à tou-te-s d'y faire appel.
2. Inclure des critères environnementaux dans les cahiers des charges des restaurants professionnels (gestion des déchets, produits locaux, étiquetage des plats par leur empreinte carbone). Inclure systématiquement la possibilité d'un plat végétarien.

Énergie.

1. Mettre en place des dispositifs systématiques de mesures des consommations électriques.
2. Rédaction d'une charte d'utilisation des moyens informatiques qui va au-delà des questions environnementales (pollution par mail) : pièces jointes, liste de destinataires, conservation. . . Autant que possible ne plus envoyer de pièce jointe par mail.
3. Faire baisser la consommation d'électricité par des actions collectives d'extinction automatique des appareils et mesure de l'effet.

Nous proposons que ces actions soient **discutées lors des entretiens budgétaires** avec les équipes et les services. De la même façon qu'un budget limité est alloué chaque année, un quota d'empreinte devrait être discuté sur la base des dépenses passées et des projets.

3.5 Implications

Pour choisir parmi ces mesures lesquelles devront être adoptées à Inria, il sera nécessaire que tout le personnel s’y implique. Ce ne peut être un groupe de travail qui impose de telles mesures au personnel sans son accord, et nous ne préconisons pas non plus que la direction les impose sans consultation voire co-construction avec le personnel.

Pour que l’institut s’empare de ces questions nous proposons d’ouvrir un forum de consultation de tout le personnel afin de récolter des idées et de mesurer la popularité de chacune. Les propositions listées ici seront incluses dans le forum pour être commentées et notées. D’autres propositions et pistes de réflexion que nous avons récoltées après la diffusion de notre document court, ou sur la liste de diffusion *développement durable*, y seront soumises. Nous espérons que d’autres vont y apparaître, comme les propositions suivantes, pour lesquelles nous ne préconisons pas de mise en place à court terme, mais une appropriation ou non par le personnel, suite à des discussions et réflexions dans les centres. Ce travail de réflexion commune pourrait être coordonné par le chef de projet RSE (voir page 1) en coopération avec les CLDD’s (commissions locales développement durable) qui existent maintenant dans la plupart des Centres et la cellule SEnS (voir page 1 et annexe C).

1. Mise en place d’une journée banalisée hebdomadaire (Principe de Pareto, 80/20) pour tout le personnel volontaire (comme le vendredi chez Google) pour développer des nouveaux projets en phase avec la RSE.
2. Inclure dans les Rapports d’Activité une estimation des coûts environnementaux (voyages et matériel) calculés avec une application mise à disposition.
3. Application de covoiturage en interne.
4. Politique d’abonnement au fournisseur d’électricité : envisager un fournisseur d’énergie renouvelable et coopérative.
5. Mise en place de composteurs dans les centres.

Pour information, voici quelques exemples d’entités de recherche ayant adopté une démarche en faveur du fonctionnement soutenable :

- ▷ L’Université de Bâle a limité le nombre de voyages en avion : <https://webspecial.tdg.ch/longform/vol-lowcost/ecoles-patrons-veulent-limiter-deplacements-avion/>
- ▷ La durabilité à l’EPFL : <https://www.epfl.ch/about/sustainability/fr/accueil/>
- ▷ Le plan Soutenabilité de l’université de Harvard : <https://green.harvard.edu/commitment>
- ▷ Le campus soutenable de l’université de Stockholm : <https://www.su.se/sustainablecampus/>
- ▷ *Plan vert* de Grenoble INP, <http://www.grenoble-inp.fr/fr/1-institut/grenoble-inp-se-dote-d-un-plan-vert>

De façon générale, nous préconisons, pour toutes ces actions, d’impliquer tout le personnel, à tous les niveaux, dans leur mise en œuvre. En réalisant des sondages pour mesurer la popularité et la faisabilité d’une action, en suscitant des initiatives de la base, en faisant circuler les informations sur les actions des un-e-s et des autres, en discutant avec les organisations syndicales, le comité d’éthique, et les autres instances de la politique de responsabilité sociale et environnementale.

4 Pour une science impliquée

L’expression "science impliquée", employée en particulier par Léo Coutellec⁴⁹, revêt plusieurs significations dans le cadre de ce document. Tout d’abord il s’agit de promouvoir l’implication des scientifiques dans une démarche éthique et épistémologique de prise de recul par rapport aux sujets techniques, en admettant la

49. Léo Coutellec, *La science au pluriel, essai d’épistémologie pour des sciences impliquées*, QUAE 2015.

présence de valeurs dans toute activité scientifique et en reconnaissant le caractère éco-systémique de la crise environnementale qui n'appelle pas seulement des réponses techniques mais aussi des réponses politiques, sociologiques et éthiques (section 4.1). Il s'agit ensuite de faire de notre institut une tête de proue du message environnemental, de l'impliquer dans la société pour promouvoir ses actions (section 4.2). Il s'agit encore de promouvoir un mode implicatif dans les relations entre la science et la société : nous avons l'habitude d'appliquer et d'expliquer nos techniques, dans une communication unidirectionnelle, nous pouvons aussi recevoir de plusieurs composantes sociales (et pas seulement de la représentation politique et de l'industrie) l'expression de leurs besoins, de leurs connaissances, de leurs valeurs. Il s'agit enfin d'impliquer les personnes concernées dans tous les changements qui les impactent, en particulier ceux que nous préconisons ici.

4.1 Prise de recul

Nous avons mentionné la façon dont la discipline informatique pouvait contribuer à la soutenabilité et comment elle pouvait être pratiquée de manière soutenable. Il manque un aspect important de l'équation de la soutenabilité, qui concerne les conséquences de nos découvertes, de façon générale et pas uniquement dans le domaine de l'environnement. Les problèmes environnementaux sont étroitement liés aux modes de vie, aux systèmes politiques, économiques et techniques qui les soutiennent, lesquels s'adosent évidemment à des systèmes de valeurs et d'idées que nous ne pouvons ignorer dans l'analyse et dans l'élaboration des solutions aux défis éco-systémiques auxquels l'humanité fait face. L'informatique en tant que discipline, liée au numérique en tant qu'industrie, a une influence sur l'environnement et sur la société. Nous appelons chaque équipe de l'institut à réfléchir aux conséquences de ses contributions sur la société et sur l'environnement, au « système technicien » (au sens de Jacques Ellul) et aux valeurs qu'elle porte. Nous appelons à renforcer la réflexion éthique dans l'institut et à y incorporer une dimension éco-systémique.

En effet, le monde de la recherche contribue à l'accélération de la production et de l'acquisition des savoirs. Cependant il en subit également les conséquences délétères telles que l'affaiblissement de la réflexion scientifique de long terme : à trop vouloir accélérer le nez dans le guidon, on en oublie de regarder l'horizon et de choisir une direction. Nous proposons donc une prise de recul en envisageant les pluralités axiologique et temporelle de la science.

Pluralité axiologique car, selon nous, la production de connaissances ne peut être neutre dans notre manière d'exercer notre activité. Nous reconnaissons donc le rôle clé que jouent des valeurs non-épistémiques dans la nature et la qualité de nos travaux. C'est par exemple le cas de la valeur de frugalité, pour reprendre la thématique de l'environnement. Cependant les domaines de l'apprentissage, de la fouille de données, de la conception de systèmes respectueux de la vie privée, etc. n'échappent pas non plus à ces principes. Ainsi, nous affirmons qu'il n'est pas possible de se retrancher derrière une supposée neutralité axiologique de la science.

Pluralité temporelle car nous reconnaissons les différentes échelles de temps au sein de nos activités et objets de recherche. Il nous faut trouver une voie hors de l'impératif productiviste d'un *publish or perish* et nous proposons de sortir de l'hégémonie d'un pilotage de la science par appels à projets, et la normativité temporelle et organisationnelle qui s'y attache. Du point de vue des personnels de l'institut (tous !) cela contribuera à la sortie d'une logique d'accélération irréfléchie.

S'autoriser une telle prise de recul, que nous jugeons indispensable, est un acte éminemment politique (mais ni politicien, ni militant, ni partisan). Il demande de ce fait à la fois l'aval de la direction de l'institut et l'adhésion de ses personnels. Il doit donc s'accompagner de débats, de formations et de confrontations d'idées.

4.2 S'impliquer et impliquer

À partir du moment où l'institut s'engage dans une démarche volontariste sur les sujets environnementaux, il se doit de bâtir un discours et des messages clairs, attrayants, mobilisateurs. Il se doit aussi de vulgariser des sujets souvent complexes et d'expliquer comment ses recherches peuvent d'ores et déjà s'appliquer ou se

réorienter sur des problématiques liées à l'écologie au sens large. Une partie des mécanismes mis en œuvre lorsque l'institut s'est saisi de sujets comme la santé, la vie privée, la gestion et la protection des données peuvent être repris pour communiquer sur les sujets environnementaux.

Que faire ?

En tant qu'établissement investi d'une mission de service public, Inria souhaite contribuer à **sensibiliser** sur les sujets environnementaux (l'impact du numérique étant une partie des sujets à aborder), **former** les jeunes générations sur ces sujets, **mettre en valeur** les initiatives lancées par l'institut en interne et à l'externe, **aider** les scientifiques et les ingénieur·e-s qui se posent des questions (les non scientifiques sont également une cible) et **témoigner** des recherches qui sont menées au sujet de la soutenabilité.

Avec quel matériel ?

Les **contenus** que nous souhaitons favoriser (en sus des publications des chercheur·e-s inhérentes au métier) sont de différentes natures : des textes, des sons, des vidéos, des *slidewares* ou des *briefings* pour faire des interventions en live (médias par exemple), des kits/mallettes pour la sensibilisation et l'éducation dans les écoles primaires, collèges et les lycées (y compris un site de ressources pour les enseignants), des *slidewares* ou des MOOCs pour l'enseignement supérieur, des messages spécifiquement préparés pour les politiques (à leur demande ou en anticipation d'une demande), des livres blancs sur les différents aspects environnementaux. Il nous semble indispensable d'avoir un **réfèrent contenu** capable de pointer les bonnes ressources en fonction des occasions.

Pour quel public ?

Les cibles restent celles auxquelles Inria a l'habitude de s'adresser à savoir : le grand public, les collègues en interne pour ce qui concerne l'empreinte carbone de l'institut mais aussi de manière plus générale les comportements plus vertueux à encourager, les acteurs académiques (scientifiques, ingénieur·e-s, chercheur·e-s de tous domaines sur les impacts du numérique), les politiques, les médias (radio, télé, presse écrite, web).

Sur quels canaux ?

Les canaux d'Inria peuvent bien sûr être utilisés mais l'institut pourrait également explorer d'autres lieux comme les Boutiques des Sciences ou les Cafés des Sciences, ou encore cibler certaines associations qui pourraient être de puissants relais. Le blog Binaire, Interstices, une newsletter dédiée, le réseau Médiation sont des canaux de premier choix pour atteindre les cibles mentionnées ci-dessus. Inria ne pourra se passer des réseaux sociaux pour atteindre les jeunes générations (par exemple avec la création d'une page Facebook, d'un compte Twitter, d'un groupe LinkedIn dédiés) et devra également augmenter sa présence dans les médias généralistes ou spécialisés comme la Terre au Carré. Des webinaires pourraient également être régulièrement organisés en lien avec Allistene ou avec Allenvi (fédérer un réseau interdisciplinaire sur ce sujet sur le modèle EcoInfo).

En interne, on pourra profiter des espaces de prise de parole comme la Journée des nouveaux arrivants, l'École du Management, le Comité de direction, les Comités de Projets, les Journées scientifiques pour les aspects recherche ainsi que les Comités de centre, les CUMI sans oublier les moments ouverts à tou-te-s comme Unithé ou Café, l'instant science, etc.

4.3 Une première liste d'actions

Voici une première liste d'actions qui peuvent être proposées (complétées au fur et à mesure en fonction des compétences/envies) :

1. En interne à destination de nos collègues à Inria

- ▷ Proposer un "baromètre" environnemental pour mesurer la sensibilité des agents.
- ▷ Organiser des débats *Sciences & Société* ou *Environnement* dans les centres.

2. Pour les acteurs scientifiques (et pour les médias et les politiques)

- ▷ Contribuer à la construction d'un "site de référence" qui contiendrait des articles, des études, des ressources (avec un processus de validation) ayant pour objectif la sensibilisation, la formation, le partage de connaissances et avec différents niveaux de lecture en fonction de l'expertise du lecteur ou du temps disponible. Par exemple, à partir du rapport du GIEC a été conçu un résumé de 15 pages spécialement pour les décideurs.

3. Pour le grand public

- ▷ Participation des chercheur·e·s/ingénieur·e·s d'Inria à des débats citoyens (Boutiques des Sciences, Café des Sciences. . .) avec l'aide des associations chargées d'animer ces structures et en lien avec le réseau Médiation.
- ▷ Participation des chercheur·e·s/ingénieur·e·s d'Inria à des débats et à des tribunes dans la presse : télévision, émissions scientifiques (La Terre au carré, . . .) en lien avec la DCom.
- ▷ Concevoir des contenus (articles, vidéos, MOOC) pour, sans être exhaustif, le blog Binaire, Interstices, etc.

4. Pour les enseignants

- ▷ Concevoir des kits de formation (du style "la mallette de la TEE") pour les écoles primaires, collèges, lycées.
- ▷ Apporter des compléments aux enseignants, contribuer à la construction ou à l'amélioration de cursus de formation en lien avec les enseignant·e·s-chercheur·e·s des universités.

5. Pour les politiques

- ▷ Organiser des rencontres (Sénat, Assemblée nationale, OPECST), des ateliers pour contribuer à améliorer leur compréhension et leurs compétences sur les sujets environnementaux.

4.4 À propos du "caractère militant" de ce document

Le rapport de la science avec la politique est toujours difficile à aborder. D'un côté, les scientifiques sont supposés travailler sur des faits, viser l'objectivité, se défaire de tout esprit partisan dans leur vie professionnelle. La vérité, après laquelle nous courons, est à ce prix. D'un autre côté, aucun aspect de notre vie scientifique n'échappe complètement à la politique, et aux valeurs. Si elles ne sont presque jamais explicites, nous travaillons toutes et tous avec des valeurs subjectives, comme en particulier celle d'accorder une valeur morale à la connaissance, à l'innovation, au dynamisme, au progrès, à la rationalité.

Sans remettre en cause ces valeurs, que nous partageons pour la plupart, nous voudrions souligner qu'ainsi toute action scientifique s'inscrit dans un projet politique. Politique n'est pas à prendre ici au sens de partisan, mais au sens d'organisation sociale.

Par exemple, quand nous prétendons, par notre mission de service public, être au service de la société, il est indispensable de nous demander de quel type de société (et de quelle part de cette société) nous sommes au service, nous voulons nous mettre au service.

En ce sens nous répondons à l'accusation de politisation du savoir ou de militantisme qu'on nous a souvent adressée. Nous plaçons effectivement pour certaines valeurs, tout en déniaut que certain·e·s puissent faire de la science sans se préoccuper de valeurs. Nous souhaitons une organisation de la science qui se donne la possibilité de construire un monde soutenable et nous pensons que tous les éléments existent aujourd'hui pour y parvenir.

ANNEXES

- A – Liens, références, ressources
- B – Activités de recherche chez Inria en lien avec l'environnement
- C – Nos préconisations pour les missions et le fonctionnement d'une cellule Sciences - Environnements - Sociétés (SEnS) chez Inria
- D – Impact environnemental de notre groupe de travail

A Liens, Références, Ressources

Cette section propose quelques pistes de lectures qui peuvent être des points de départ pour approfondir les sujets discutés dans ce rapport. Voir aussi la section 2.3 qui pointe des initiatives dans le monde de la recherche (nous conseillons en particulier la lecture des appels, listés à la fin de cette section) et la section 3.5 qui fournit des exemples de démarches vers un fonctionnement soutenable, ainsi que les nombreuses notes de bas de page à travers le document.

A.1 Sur les enjeux environnementaux globaux

Deux articles qui synthétisent les enjeux sous forme d'une dizaine de limites planétaires critiques. Le premier est paru en 2009, le deuxième propose une mise à jour en 2015 :

- ▷ Johan Rockström *et al.*, *Planetary Boundaries : Exploring the Safe Operating Space for Humanity*⁵⁰, Ecology and Society 14(2), 2009.
- ▷ Will Steffen *et al.*, *Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet*⁵¹, Science 347(6223), 2015.

Un livre assez facile et rapide à lire qui présente les grandes lignes des enjeux globaux :

- ▷ Lester Brown, *Le plan B : Pour un pacte écologique mondial*⁵², Calmann-Lévy 2007.

Article de synthèse décrivant de nombreuses manières dont les changements climatiques peuvent impacter la santé, l'alimentation, l'eau, les infrastructures, l'économie et la sécurité :

- ▷ Camilo Mora *et al.*, *Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions*⁵³, Nature Climate Change 2018.

Il est également instructif de lire/parcourir les rapports du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat,⁵⁴) et de l'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques⁵⁵) ou les résumés rédigés à l'intention des décideurs, comme par exemple ces deux rapports récents :

- ▷ Le *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services* de l'IPBES de 2019 renseigne sur l'état de la biodiversité, sur les raisons de sa chute, etc. Le rapport est en anglais⁵⁶, le résumé à l'intention des décideurs existe en français⁵⁷.
- ▷ Le *Special Report Global Warming of 1.5° C*⁵⁸ du GIEC présente les impacts d'un réchauffement climatique global moyen de 1,5 degrés par rapport à l'ère pré-industrielle.

A.2 Sur les enjeux de société

Un petit livre facile à lire sur le concept de décroissance et les liens entre écologie, politique, économie, système technique et système de valeurs ; précieux également pour ses nombreuses références bibliographiques :

- ▷ Serge Latouche, *La Décroissance*, Collection Que sais-je, PUF, 2019.

Quelques références pour réfléchir sur le système technique et ses imbrications sociologiques, politiques et écologiques :

- ▷ Jacques Ellul, *Le système technicien*, 3e éd., Le Cherche-Midi, 2012.

50. <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/ES-2009-3180.pdf>

51. <http://science.sciencemag.org/content/sci/347/6223/1259855.full.pdf>

52. <https://calmann-levy.fr/livre/le-plan-b-9782702138588>

53. <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0315-6>

54. <https://www.ipcc.ch/>

55. <https://www.ipbes.net/>

56. <https://www.ipbes.net/global-assessment-report-biodiversity-ecosystem-services>

57. https://www.ipbes.net/system/tdf/ipbes_7_10_add.1_fr.pdf?file=1&type=node&id=36019

58. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

- ▷ Jacques Ellul, *Le bluff technologique*, 3e éd., Hachette, 2012.
 - ▷ Ivan Illich, *Oeuvres complètes*, Vol. 1 et 2, Fayard, 2016.
 - ▷ Ulrich Beck, *La société du risque*, Flammarion, 2008.
 - ▷ Lewis Mumford, *Technique et civilisation*, PARENTHESSES, 2016.
- Deux références classiques pour réfléchir aux questions éthiques soulevées par notre âge technologique :
- ▷ Hans Jonas, *Le principe responsabilité*, Flammarion, 2013.
 - ▷ Hannah Arendt, *La condition de l'homme moderne*, Pocket, 2002.

A.3 Sur les sciences impliquées

- ▷ Leo Coutellec, *La science au pluriel, essai d'épistémologie pour des sciences impliquées*, QUAE 2015.
- ▷ Sciences citoyennes, voir par exemple <https://sciencescitoyennes.org> et <http://science-societe.fr>.
- ▷ Bruno Latour, *Où atterrir ?*, La Découverte 2017.

A.4 Sur l'impact environnemental du numérique

- ▷ Eric Vidalenc, *Pour une écologie numérique*⁵⁹, Les Petits Matins 2019.
- ▷ Bill Tomlinson, *Greening through IT*⁶⁰, MIT Press 2012.
- ▷ GDS EcoInfo⁶¹ : Groupement de Services du CNRS qui propose un ensemble de services en ligne ou sous la forme d'accompagnement et/ou d'audit dans l'objectif général d'évaluer puis de réduire les impacts de l'informatique dans l'ensemble l'enseignement supérieur recherche, quelque soit la discipline. Leur site internet contient de nombreuses analyses et ressources sur la question de l'impact environnemental du numérique, que ce soit sur les e-déchets, l'éco-conception, la gestion des data-centers, etc.
- ▷ The Shift Project⁶² se définit comme un « think tank qui œuvre en faveur d'une économie libérée de la contrainte carbone. » Son site regroupe des analyses et rapports sur l'impact environnemental du numérique, mais aussi bien au-delà.

A.5 Sur la mesure de l'empreinte environnementale

Voici quelques références qui abordent le problème de la mesure de l'empreinte environnementale :

- ▷ Le *Global Footprint Network* (<https://www.footprintnetwork.org/>) propose une mesure de l'empreinte écologique d'un ensemble d'activités humaines, sous forme de la surface nécessaire pour les soutenir.
- ▷ L'Ademe répertorie de nombreuses ressources pour l'établissement d'un bilan carbone, <http://www.bilans-ges.ademe.fr>
- ▷ Recueil de mesures unitaires pour calculer l'empreinte environnementale des activités de recherche : <https://ferme.yeswiki.net/Empreinte>. La figure 1 donne quelques exemples.
- ▷ Une calculette de bilan de carbone : <https://selectra.info/energie/guides/environnement/bilan-carbone>
- ▷ Un quiz sur l'impact des déplacements : <https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/testez/limpact-deplacements>

59. <https://www.veblen-institute.org/Pour-une-ecologie-numerique.html>

60. <https://mitpress.mit.edu/books/greening-through-it>

61. <https://ecoinfo.cnrs.fr/>

62. <https://theshiftproject.org/>

- ▷ Carbonalyser, un plugin pour Firefox permettant de mesurer la consommation d'électricité et les émissions de gaz à effet de serre dues à l'usage d'internet : <https://addons.mozilla.org/fr/firefox/addon/carbonalyser/>

Des guides/informations sur les éco-gestes :

- ▷ Guide de l'Ademe, *Eco-responsible au bureau* : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-ecoresponsable-au-bureau.pdf>
- ▷ Rapport *Faire sa part ? Pouvoir et responsabilité des individus, des entreprises et de l'Etat face à l'urgence climatique* de Carbone 4, qui jauge l'impact des éco-gestes individuels : <http://www.carbone4.com/publication-faire-sa-part/>

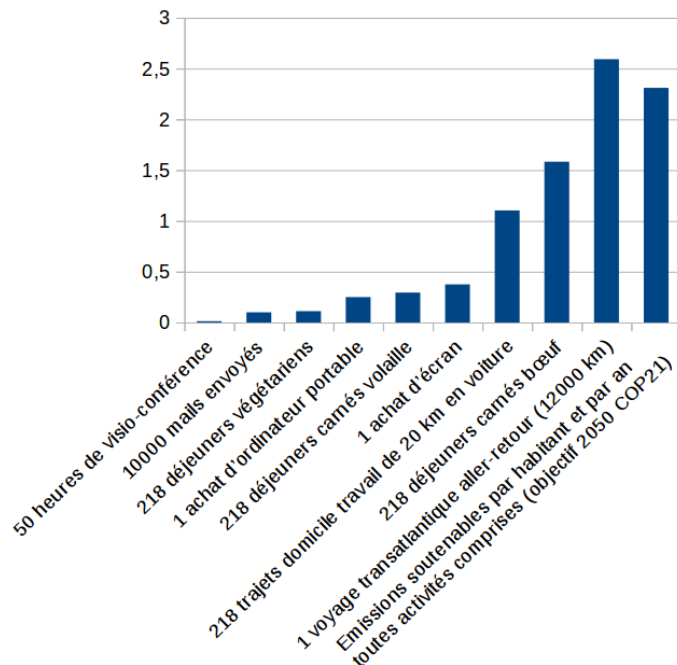


FIGURE 1 – Emission, en tonnes de CO₂, de quelques activités courantes dans la pratique de la recherche scientifique. Les 218 jours travaillés par an sont estimés sur la base d'une semaine de 5 jours, 10 jours fériés et 35 jours de congés. Les émissions soutenables sont estimées à partir de la capacité d'absorption de la Terre (23.1Gt, selon le *Global Carbon Budget 2018*), et 10 milliards d'habitants (estimation pour 2050). Source pour les données unitaires : <https://ferme.yeswiki.net/Empreinte/>, mesures d'octobre 2019.

B Activités de recherche chez Inria en lien avec l'environnement

Même si peu d'équipes d'Inria sont principalement focalisées sur l'environnement, des activités en lien avec l'environnement ont régulièrement lieu dans de nombreuses équipes. Cette section présente un aperçu de ces activités, sur la base des rapports d'activité des équipes de la seule année 2017. Le but n'est pas du tout d'être exhaustif mais plutôt de donner une idée de la panoplie des sujets abordés et des équipes impliquées (environ 70).

Une difficulté a été de délimiter le périmètre de ce qui relève de l'environnement. Le choix qui a été fait est de considérer les activités qui visent explicitement à réduire l'impact environnemental, qui contribuent directement aux sciences environnementales ou qui concernent l'un des grands domaines que sont la mobilité, la ville, l'agriculture, l'énergie. Ainsi, la liste contient par exemple à la fois des travaux sur les énergies

renouvelables et les énergies fossiles ou nucléaire. Il ne nous a pas semblé utile à ce stade de faire un tri plus fin, l'objectif était de ratisser large et non de donner une liste de sujets jugés comme étant "verts" ou autrement vertueux.

Les sujets suivants et probablement d'autres, ne semblent pas encore être abordés, ou seulement de manière marginale :

- ▷ stockage de l'énergie,
- ▷ modélisation/compréhension d'effets indirects/rebond,
- ▷ conception écoresponsable,
- ▷ vision holistique liant social, économique, environnemental.

Ci-dessous, la liste des activités repérées dans les rapports d'activité de 2017, avec des noms de projets ou sujets en anglais, suivis des noms des équipes impliquées, le tout groupé en quelques grandes catégories.

B.1 Réduction de l'empreinte écologique des technologies numériques elles-mêmes

- ▷ Reduction of energy consumption, exploiting usage of renewables
 - ▷ measuring and analyzing energy consumption of various computing architectures, AVALON
 - ▷ increase energy efficiency of computing architectures, AVALON
 - ▷ reducing energy consumption of internet service provider networks, COATI
 - ▷ compiling to reduce energy consumption of applications, CORSE
 - ▷ prediction of the energy consumption of a chip, EVA
 - ▷ low-power Internet of Things, INFINE
 - ▷ performance analysis of a data center by renewable energy resources, NEO
 - ▷ zero Power Computing Systems, PACAP, SOCRATE
 - ▷ energy proportional networks, PANAMA
 - ▷ energy-aware algorithms and scheduling strategies, ROMA
 - ▷ measuring and optimizing the energy footprint of ICT software infrastructures, SPIRALS
 - ▷ clouds, distributed systems
 - optimizing energy management in distributed clouds, MYRIADS
 - energy cost models for heterogeneous cloud infrastructures and for energy distribution grids, MYRIADS
 - exploiting renewable energy in clouds, MYRIADS
- ▷ IoT, sensor networks
 - improving energy efficiency for wireless sensor networks and distributed computing, CAIRN
 - energy-efficient mechanisms in low-power wireless networks, EVA
 - energy-aware routing for IoT for smart grids, FUN
- ▷ HPC, supercomputing
 - improving energy efficiency of HPC, CAMUS, CTRL-A, DATAMOVE
 - energy-efficient heterogeneous supercomputing architectures, PACAP
 - energy-efficient HPC and data storage, KERDATA
- ▷ Better usage of materials, including recyclability/reparability by design, less dispersive usage of materials
 - ▷ pas de travaux à notre connaissance

B.2 Réduction de l’empreinte écologique d’autres technologies

- ▷ Optimizing technologies to lower energy consumption
 - ▷ Vehicles
 - modeling and optimization for active flow control technologies to improve aerodynamic performance of cars, ACUMES
 - experimental fluid mechanics to limit aircraft fuel consumption, FLUMINANCE
 - optimizing aircraft trajectories for reduction of fuel consumption, COMMANDS
 - ▷ Buildings, cities
 - tools for assessing thermal performance of buildings, I4S
 - resource consumption analysis for optimizing energy consumption in industrial factories, LA-CODAM
 - optimization for building design (including reduction of environmental impact), ACUMES
- ▷ Better usage of materials, including recyclability/reparability by design, modularity, less dispersive usage of materials
 - ▷ sustainable use of resources in construction, SERENA

B.3 Contributions à la mobilité, ville ou agriculture (dites intelligentes)

- ▷ Mobility (traffic, vehicles)
 - ▷ modeling and control of road traffic, among which control of autonomous vehicles, ACUMES
 - ▷ networking for mobility : dynamic car-pooling combined with multi-modal transportation systems, COATI
 - ▷ modelling of road traffic (traffic jams), COFFEE, ACUMES
 - ▷ computing optimal multi-modal itineraries in cities, including car pools, GANG
 - ▷ road traffic modelling for energy management of hybrid vehicles (with IFPEN), COMMANDS
 - ▷ dynamical distribution of network control to enable message dissemination in Intelligent Transport Systems, DIANA
 - ▷ energy trade-offs for end-to-end communications in urban vehicular networks, DYOGENE
 - ▷ machine learning and data mining to study traffic congestion, parking, ride-sharing, pollution and energy consumption, MAGNET
 - ▷ ad hoc networks for (autonomous) vehicles, EVA, FUN
 - ▷ vehicle routing, INOCS
 - ▷ traffic control, NECS
 - ▷ optimization for electric car-sharing systems, INOCS
 - ▷ IoT for connected vehicles, KAIROS
 - ▷ calibration of sensors for autonomous cars, MISTIS
 - ▷ validation of safety properties for automated transport systems, MEXICO
 - ▷ critical infrastructure operation, such as public transportation systems and power distribution networks, ILDA
 - ▷ autonomous vehicles, RAPSODI
 - ▷ car sharing, RAPSODI
 - ▷ autonomous car control and path planning, SEQUEL
 - ▷ validating the safety of autonomous vehicles, TAU

- ▷ integrated models for transportation and land use, STEEP
- ▷ Cities and homes
 - ▷ wireless networks for smart cities, e.g. for environmental monitoring (such as atmospheric pollution), AGORA
 - ▷ data assimilation for atmospheric and noise pollution monitoring in cities, ANGE
 - ▷ sensing for smart cities, FUN
 - ▷ air quality monitoring in large and dense urban areas, ILDA
 - ▷ energy efficient smart homes, PERVASIVE
 - ▷ energy management and saving solutions for smart homes, SPIRALS
 - ▷ integrated models for transportation and land use, STEEP
 - ▷ modeling urban sprawl, STEEP
- ▷ Agriculture and food production
 - ▷ modeling agrifood chains, i.e. the chain of all processes leading from the plants to the final products, including waste treatment, GRAPHIK
 - ▷ decision support systems for agronomy using ontologies and structured knowledge to integrate scientific data coming from different sources, GRAPHIK
 - ▷ cattle monitoring from multiple sensors placed on calves for the early detection of diseases, LACODAM
 - ▷ IoT and data analysis to improve farming conditions, LACODAM
 - ▷ tools to increase the durability of the wheat supply chain, GRAPHIK
 - ▷ characterization and simulation of agricultural landscapes, ORPAILLEUR
 - ▷ formal concept analysis for the representation of farmer experience, ORPAILLEUR

B.4 Production, distribution et stockage d'énergie

- ▷ Renewables
 - ▷ sensitivity analysis for simulating floating offshore wind turbines, AIRSEA
 - ▷ simulation of hydrodynamics (of rivers, lakes, etc.), application to micro-algae production (e.g. for biofuel), ANGE
 - ▷ modelling and optimization for hydro-energy, ANGE, CARDAMOM, LEMON
 - ▷ control for the production of methane and/or biohydrogen from organic wastes, BIOCORE
 - ▷ modelling and optimizing micro-algae production (e.g. for biofuels), ANGE, BIOCORE
 - ▷ applications of HPC in simulations for energy production (wind, hydro, biomass, etc.), CORSE
 - ▷ control for Wind Farm Power Maximization, DISCO
 - ▷ uncertainty modeling for wind turbine control, MULTISPEECH
 - ▷ monitoring system for wind turbines, I4S
 - ▷ numerical modeling for wind and hydro-energy, MEMPHIS
 - ▷ stochastic models for solar power (irradiance prediction), NEO
 - ▷ HPC and simulation for energy production (renewable as well as oil and gas), HIEPACS
 - ▷ decentralized, local, production (and consumption) based on intermittent renewable sources, PERVASIVE
- ▷ Nuclear
 - ▷ Fission

- heat transfer and other fluid dynamics modelling for nuclear power plant design and operation, CAGIRE
- multi-physics simulation to study building materials for nuclear reactors, HIEPACS
- industrial risks in energy production (fission), SERENA
- ▷ Fusion
 - simulation for nuclear fusion, CASTOR, HIEPACS, TONUS
 - fluid mechanics for nuclear energy, COFFEE
- ▷ Waste
 - numerical modeling of multiphase porous media flows for simulation of nuclear waste repositories (collaboration with Andra), COFFEE
 - parameter identification to characterize sites destined for nuclear waste, DEFI
 - modeling geological disposal of radioactive wastes, FLUMINANCE
 - algebraic and geometric domain decomposition for subsurface/groundwater flows, with application to radioactive waste deep geological disposal, HIEPACS
 - nuclear waste disposal in deep underground repositories, SERENA
- ▷ Fossile
 - ▷ numerical modeling of multiphase porous media flows for simulation of oil and gas recovery (collaboration with Total), COFFEE
 - ▷ seismic imaging for oil exploration, MAGIQUE-3D
 - ▷ HPC and simulation for energy production (renewable as well as oil and gas), HIEPACS
 - ▷ production of oil and gas, SERENA
- ▷ Distribution, storage, consumption patterns
 - ▷ optimization and control problems in energy networks, DISCO
 - ▷ modelling and control of district heating networks, DISCO
 - ▷ distributed control of a fleet of batteries, DYOGENE
 - ▷ distributed control design for balancing the grid using flexible loads (intermittent energy sources), DYOGENE
 - ▷ wireless networks for power plants, EVA
 - ▷ pricing models for energy demand side management, smart grids, INOCS
 - ▷ optimization problems arising in the management of gas networks, INOCS
 - ▷ pattern mining for detection of energy consumption patterns, LACODAM
 - ▷ energy cost models for heterogeneous cloud infrastructures and for energy distribution grids, MYRIADS
 - ▷ critical infrastructure operation, such as public transportation systems and power distribution networks, ILDA
 - ▷ user centric energy management system, PERVASIVE
 - ▷ modeling long-term investments in power systems, TAU
 - ▷ simulation, calibration, and optimization of regional or urban power grids, TAU
 - ▷ prediction of the power flow on the entire French territory over several years, TAU
 - ▷ smartgrids : POLARIS, EASE, HYCOMES, MYRIADS, COMMANDS, INFINE, TROPICAL

B.5 Compréhension de l'environnement

- ▷ Ocean, atmosphere, climate, weather
 - ▷ modeling for oceanic and atmospheric flows (including data assimilation, HPC, uncertainty quantification etc.), AIRSEA
 - ▷ modelling of geophysical flows, for oceanography, meteorology, sediment transport modeling (estimation of sustainability of infrastructure such as canals, bridges, etc.), ANGE
 - ▷ modelling for hydrological disasters (floods, tsunamis), ANGE
 - ▷ urban flood modeling, LEMON
 - ▷ application to computing for climatology, AVALON
 - ▷ modeling carbon fluxes between ocean and atmosphere, BIOCORE
 - ▷ tsunami modelling and risk assessment, CARDAMOM
 - ▷ data assimilation with applications in climatology, ECUADOR
 - ▷ applications of computing platforms in climate modeling, MYRIADS
 - ▷ remote sensing for meteorology, climatology, oceanography, flood modeling, FLUMINANCE, GEOSTAT
 - ▷ simulation for atmospheric chemistry, HIEPACS
 - ▷ modelling of high-impact weather events, MISTIS
 - ▷ multi-scale ocean modelling, LEMON
- ▷ Ecology, ecosystems, biodiversity
 - ▷ traitement des données satellitaires en écologie et cartographie du paysage, MISTIS
 - ▷ modelling of ecosystems and anthropogenic pressures, LACODAM
 - ▷ study of biological systems and social systems facing shortage of resources, DATASPHERE
 - ▷ outils bioinfo pour l'identification basée sur l'ADN (meta-génomique) de la biodiversité marine (planctonique et autres) présente dans un échantillon, GENSCALE
 - ▷ modeling the propagation of invasive species, STEEP
 - ▷ semantic web for biodiversity, WIMMICS
 - ▷ crowdsourcing solution for assessing biodiversity etc. (Pl@ntNet), ZENITH
- ▷ Soil
 - ▷ numerical modeling of multiphase porous media flows for simulation of geothermal systems (collaboration with BRGM), COFFEE
 - ▷ various works on soil modeling for studying sites for nuclear waste deposits, COFFEE, DEFI, FLUMINANCE, HIEPACS
 - ▷ porous media flows, RAPSODI
 - ▷ stratigraphic models of the erosion and sedimentation phenomena at geological scales, RAPSODI
- ▷ Other
 - ▷ simulation of ice cap melting, FLUMINANCE
 - ▷ modeling urban sprawl, STEEP

B.6 Autres sujets

- ▷ Benchmarking national CO2 emission pathways, STEEP
- ▷ Depollution
 - ▷ bacteria-based biological depollution, BIOCORE, ANGE
 - ▷ subsurface depollution after chemical leakage, SERENA
- ▷ Links between social and natural systems
 - ▷ study of biological systems and social systems facing shortage of resources, DATASPHERE
 - ▷ study of interdependencies of natural ecosystems and socio-economic systems, and the role of digital systems on measuring and controlling the global natural/social system, DATASPHERE
 - ▷ modelling of ecosystems and anthropogenic pressures, LACODAM
 - ▷ tools to increase the durability of the wheat supply chain, GRAPHIK
 - ▷ modeling of territorial supply chains and ecological accounting for sectorial pressure assessment (e.g. on water), STEEP
 - ▷ assessing resilience of territories against interruptions of supply chains, climate change, etc., STEEP
- ▷ Financial system
 - ▷ investigate the condition of apparition of a monetary economy in a more ecological framework provided with the assumption that the market is made up of a finite number of agents having a bounded rationality and facing a time constraint, MNEMOSYNE
- ▷ Risk assessment
 - ▷ tsunami risk assessment, CARDAMOM
 - ▷ risk assessment and management, in particular natural risks, LEMON, MISTIS
 - ▷ bayesian nonparametric approach to ecological risk assessment (Species Sensitivity Distribution), MISTIS
- ▷ Environmental monitoring
 - ▷ environmental monitoring (fire detection, snow melting, frost prediction for orchards, etc.), EVA, ANGE
 - ▷ monitoring pollution, floods or fire, FLUMINANCE
 - ▷ characterization and simulation of agricultural landscapes, ORPAILLEUR
 - ▷ detection of land use changes and study of the relation of these to groundwater quality, ORPAILLEUR
 - ▷ modeling of land use / land cover changes, STEEP
 - ▷ study of the properties of seismic faults, earthquake modeling and hazard simulation, TITANE
- ▷ Monitoring of infrastructures
 - ▷ monitoring and localization of damages on civil structures (bridges, towers, roads, etc.), I4S
 - ▷ modelling of geophysical flows, for oceanography, meteorology, sediment transport modeling (estimation of sustainability of infrastructure such as canals, bridges, etc.), ANGE
 - ▷ study of concrete carbonation and corrosion, prediction of evolution of civil engineering structures, RAPSODI
- ▷ Water :
 - ▷ simulating effects of landscape structure, farming system changes and their spatial arrangement on stream water quality, LACODAM
 - ▷ models for sustainable management of water consumption (game theory), NEO

- ▷ detection of land use changes and study of the relation of these to groundwater quality, ORPAILLEUR
- ▷ CO2 storage
 - ▷ simulation of compositional multiphase flow in porous media with different types of applications, in particular reservoir/bassin modeling, and geological CO2 underground storage, ALPINES
 - ▷ modelling photosynthesis-based CO2 fixation in microalgae, BIOCORE
 - ▷ geological sequestration of CO2, SERENA

C Nos préconisations pour les missions et le fonctionnement d'une cellule Sciences - Environnements - Sociétés (SEnS) chez Inria

NB : Comme il est indiqué sur la première page de ce document, le principe d'une cellule SEnS a été approuvé par la Direction Générale. Le nouveau COP (Contrat Objectifs Performance) d'Inria mentionne « Enfin, une cellule interne sera mise en place afin de promouvoir des actions relatives à la responsabilité sociale et environnementale, comme la réduction de l'empreinte carbone et, plus généralement, une pratique scientifique responsable en phase avec les aspirations de la société pour un développement durable. » Le mode de mise en place précis est encore à finaliser. Les spécifications ci-dessous sont rédigées en temps présent.

C.1 Besoin

Nos recherches changent le monde. La science la plus fondamentale comme la plus appliquée, dans tous les domaines investis par Inria, a des présupposés et des impacts sociétaux, environnementaux, économiques, politiques. Ces impacts sont si importants, particulièrement pour notre institut qui est moteur dans le déploiement des technologies numériques dans toutes les strates de la société, qu'on ne peut éviter la question de sa responsabilité. Il y a un besoin chez Inria de prendre du recul sur les recherches effectuées, de questionner leur impact et leur pertinence sociétale, d'aborder la question environnementale de façon institutionnelle, de diversifier les liens sciences - sociétés.

La création d'une cellule *Sciences Environnements Sociétés (SEnS)* est recommandée afin de développer une réflexion, conseiller, animer le débat, construire des partenariats, organiser ou mener des actions, sur le sujet des conséquences de nos recherches sur la société et l'environnement.

C.2 Missions

La cellule SEnS est un "think tank" scientifique, un laboratoire de réflexion, d'observation et de propositions. Elle aurait pour missions de (1) infuser les questions environnementales à tous les niveaux en incitant l'institut et ses personnels à développer des réflexions et actions sur leur pratiques de recherche, l'impact et la pertinence sociétale et environnementale de leurs recherches, (2) diffuser des informations auprès des personnels et de se nourrir en retour de leurs ressentis et de leurs réflexions, (3) tisser des liens avec des structures pertinentes à l'extérieur de l'institut.

C.2.1 Intégration des enjeux sociétaux et environnementaux dans les rouages d'Inria

- ▷ Aide à la mesure de l'impact environnemental à tous les niveaux : individus, équipes, services, centres, direction de l'institut. Propositions d'indicateurs et d'outils. Conseil et suivi du diagnostic environnemental de l'institut, en collaboration avec la DGD-A, en faisant éventuellement appel à des organismes extérieurs pour l'expertise (Ademe, négaWatt⁶³ ...).

63. <https://negawatt.org/>

- ▷ Au niveau des équipes, et à leur demande, aide à l'élaboration d'une réflexion sur leur rôle et leur impact sociétal et environnemental. Il s'agira de donner des pistes pour un questionnement, outils de calcul et d'analyse, conseils, partage de bonnes pratiques.
- ▷ Propositions pour intégrer des questions sociétales et environnementales dans les processus d'évaluation des personnes, des équipes, des structures et de l'institut, auprès de la DGD-S, de la commission d'évaluation, du conseil scientifique, des syndicats.
- ▷ Aide à l'intégration des enjeux sociétaux et environnementaux dans les orientations stratégiques, tant scientifiques que fonctionnelles, de l'institut (conseils pour la rédaction des documents de politique scientifique engageant l'institut et de livres blancs).

C.2.2 Médiation, formations

- ▷ Animation de débats et de réflexions sur les questions sociétales et environnementales dans l'institut (groupes de travail, sondages, conférences, baromètre environnemental) en impliquant l'ensemble du personnel.
- ▷ Organisation d'actions de formation et de sensibilisation sur l'impact environnemental de la recherche et du numérique à destination des doctorants (par exemple articulées avec les formations à l'éthique scientifique), au séminaire des nouveaux arrivants, aux sessions de l'école du Management.

C.2.3 Interactions sociétales

- ▷ Suivi des actions homologues dans d'autres instituts et universités, françaises ou étrangères, fédérations, veille bibliographique sur des actions et leurs effets.
- ▷ Prospective sur des modes innovants de relations avec la société, sciences participatives ou citoyennes, boutiques des sciences, rompant avec les relations unilatérales de la communication scientifique traditionnelle, en cohérence avec les actions du réseau Médiation.
- ▷ Prospective sur l'organisation de la recherche interdisciplinaire, inter instituts, mêlant sciences, environnements et sociétés afin de contribuer à la prise en compte des défis posés par la transition écologique.

C.3 Fonctionnement

C.3.1 Fonctionnement interne

- ▷ Constitution : Une coordinatrice ou un coordinateur est nommé.e par la direction, chargé.e de rassembler des membres. Son rôle s'arrête quand la cellule est formée. Les membres sont désignés pour 6 ans maximum, renouvelables par tiers tous les deux ans.
- ▷ Composition : La cellule est composée d'une dizaine de membres. Des équilibres entre genres, centres Inria, générations, fonctions, internes ou externes chez Inria, sont à observer.
- ▷ Animation et représentation : Les membres de la cellule décident des rôles d'animation, coordination, de porte-parole, de contact, de leur durée, de leur répartition, du cumul ou non de ces tâches.
- ▷ Mode de travail : La cellule se réunit au moins une fois par mois, et les membres spécifieront eux-mêmes un mode de fonctionnement nécessaire à l'accomplissement de leur mission.
- ▷ Moyens : Au début ou en cours de son fonctionnement la cellule fera une demande de moyens financiers (fonctionnement, prestations) et humains (chargé.e.s de missions, support, soutien) à la direction, en explicitant ses besoins.
- ▷ Diffusion : La composition, le calendrier des réunions, les comptes-rendus des réunions et les actions menées seront rendus publics. Tout membre d'Inria (au sens large, membres d'équipes ou services) pourra s'adresser à la cellule *via* une adresse mail spécifique.
- ▷ Bilan : Un court rapport annuel sera communiqué à la direction et rendu public. Il contiendra un bilan environnemental du fonctionnement de la cellule.

C.3.2 Implications dans Inria

Les missions de la cellule SEnS en font un des éléments de la politique de responsabilité sociale et environnementale d’Inria. Elle maintient donc un lien et une collaboration avec tous les autres acteurs de cette politique, en particulier, et de façon non exhaustive,

- ▷ la Direction générale (DGD-S, DGD-A, DGD-I)
- ▷ l’ADS environnement
- ▷ les commissions locales développement durable, ancrage de la responsabilité environnementale dans les centres
- ▷ le réseau médiation, directement impliqué dans les relations sciences - société, et les services communication, qui gèrent nos liens internes et externes
- ▷ le COERLE, qui organise des formations à l’éthique scientifique
- ▷ les commissions hygiène et sécurité (nationales et locales) pour les liens entre les contraintes environnementales et les conditions de travail
- ▷ la commission d’évaluation, dans son rôle de réflexion sur l’évaluation

De plus il sera important d’impliquer l’ensemble du personnel, d’intégrer ses attentes et ses ressentis, afin de proposer des actions cohérentes avec un mode de fonctionnement auquel il aspire.

C.3.3 Implications dans le monde académique

La cellule SEnS participera éventuellement à des actions fédératrices nationales ou internationales comme Labos1.5, ALISS, CERNA, EcoInfo, AllEnvi, Réseau Prosper...

Elle pourra aussi tisser des liens avec des instituts ou universités académiques dans diverses disciplines pertinentes pour éclairer sa réflexion, enrichir ses instruments de mesure, et accomplir sa mission de prospective sur l’organisation de la recherche interdisciplinaire.

C.3.4 Implications dans la société

Par des liens avec des associations ou autres groupements sociaux, la cellule SEnS favorisera le lien entre les recherches menées chez Inria et les aspirations de différentes composantes des sociétés humaines.

D Impact environnemental de notre groupe de travail

Dans les conclusions de notre groupe, nous préconisons entre autres la mesure et la réduction des émissions de CO₂ liées à nos activités. Nous mettons à disposition quelques données nécessaires, applicables à tous niveaux dans l’institut et ailleurs, et nous avons naturellement appliqué à notre propre activité de groupe de travail cette préconisation.

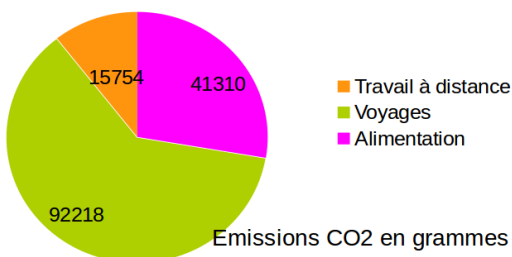
Notre groupe était formé de 10 personnes de Paris, Bordeaux, Grenoble, Lyon, Montpellier. Nous avons d’abord beaucoup travaillé à distance, cumulé environ 100 heures.personnes de travail en visioconférences, 100 heures.personnes de travail individuel connecté, environ 100 mails échangés⁶⁴. Selon nos instruments de calcul ceci correspond à une émission approximative de CO₂ de 15,7kg (nous n’imputons pas la fabrication du matériel, elle peut se faire à un autre niveau).

Nous nous sommes réunis en présentiel une fois à Lyon, lieu qui minimisait les distances parcourues. Nous avons cumulé environ 3600km en train, 250 en voiture (50+42=92kg émis), et consommé 9 repas végétariens livrés à vélo (41kg émis). Nous arrivons donc à un total de 149kg (pour comparaison, l’émission quotidienne moyenne par habitant en France est de 20,5kg).

64. Jusqu’au mois de juin, quand les calculs présentés ici ont été effectués.

Imputer les repas est discutable, puisque leur consommation n'est pas réellement une conséquence de notre travail. Nous pourrions même compter des émissions négatives sur ce poste, puisqu'il est probable que sans cette réunion, chacun-e aurait consommé un repas de midi plus émetteur en CO2 que celui-là (par exemple, sur la base d'une consommation de repas carnés dans un restaurant d'entreprise, notre repas fait l'économie de 52kg émis, l'équivalent de tous les voyages en train). Nous conservons néanmoins ce poste pour montrer et comparer les ordres de grandeur, et pour ne pas être intrusif sur les habitudes alimentaires.

Notre réunion présentielle semblant représenter un fort pourcentage de nos émissions, nous avons longuement débattu sur sa nécessité. Nous n'étions pas tous d'accord, certains auraient préféré continuer le travail en visioconférence pour rester exemplaires et crédibles dans le domaine dans lequel nous allions donner des préconisations. Plusieurs arguments nous ont néanmoins convaincu de faire cette réunion. Un calcul conséquentialiste, d'abord : les propositions que nous avons construites pour Inria, si elles sont adoptées, peuvent permettre de largement compenser le carbone émis. En effet, il suffirait qu'une seule personne dans l'institut garde son ordinateur portable cinq ans au lieu de trois, sur la base de nos calculs et nos préconisations, pour faire baisser les émissions imputées à l'institut d'un montant supérieur à ce que nous avons émis. Or, notre réunion présentielle, avons-nous pensé, permettra d'affiner nos propositions pour augmenter significativement la probabilité que nos mesures soient appliquées par un grand nombre, et que leur effet bénéfique soit sans commune mesure avec ce bilan. Une éthique des vertus, enfin : au-delà des tableaux de chiffres et de l'optimisation permanente, la convivialité et la sobriété ont été des valeurs guides dans notre travail, notre organisation, nos décisions.



Poste	Coût unitaire	Nombre	Total
Visio	76,8	100	7680
Mail	19,0	100	1900
Travail individuel	62,24	100	6224
Train (km)	14,0	3587	50218
Voiture (km)	168,0	250	42000
Traiteur	4590,0	9	41310
Total			149282

FIGURE 2 – Bilan carbone de notre GT : calcul détaillé, à partir des données récoltées par notre groupe, disponibles sur la page <https://lite.framacalc.org/zX4GxZJrRA>