



Ineris-155295-2790336-v1.0

23/02/2024

Rapport de veille prospective

Panorama des enjeux pour l'identification et l'analyse des risques émergents



maîtriser le risque |
pour un développement durable |

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction de la Stratégie, politique scientifique et communication (SCI)

Rédaction : Aurélie PREVOT, Laurence ROUIL

Vérification : Bruno DEBRAY, Laurence ROUIL

Approbation : Laurence ROUIL – le 26.01.2024

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Karine ADAM, Eva LEOZ, Anna LEYMARIE, Isabelle PRADAUD, Aurélie PREVOT, Laurence ROUIL, Marie-Astrid SOENEN

Table des matières

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introduction..... | 7 |
| 1.1 | Pourquoi la veille prospective à l'Ineris ? | 7 |
| 1.2 | Comment traiter l'horizon des risques émergents ?..... | 7 |
| 2 | Méthodes et modèles pour l'évaluation des risques | 8 |
| 2.1 | Approches intégrées, risques systémiques et multirisques | 8 |
| 2.2 | Modèles industriels..... | 9 |
| 2.2.1 | La disparition progressive du modèle industriel connu ? | 9 |
| 2.2.2 | <i>Gigafactories</i> et industrie « hors les murs » | 10 |
| 2.3 | Incertitudes et « angles morts » | 10 |
| 2.3.1 | Les multiples facettes du traitement des incertitudes..... | 10 |
| 2.3.2 | Angles morts et zones d'ignorance dans l'étude des risques | 11 |
| 3 | Facteurs de risques | 12 |
| 3.1 | Changement climatique..... | 12 |
| 3.2 | Sobriété(s) | 13 |
| 3.2.1 | L'émergence d'une voix/voie de la sobriété | 13 |
| 3.2.2 | La circularité au cœur du système | 13 |
| 3.2.3 | Retour à l'humain & incertitude radicale..... | 14 |
| 3.3 | Technologies à l'ère de l'Anthropocène | 14 |
| 3.3.1 | L'essor des technologies vertes / bas carbone | 14 |
| 3.3.2 | Le décryptage des jeux d'acteurs de la croissance verte | 15 |
| 3.3.3 | Gérer le présent et l'héritage du passé | 15 |
| 3.4 | Révolution numérique..... | 16 |
| 3.4.1 | Une nouvelle ère des relations « humain-machine » ? | 16 |
| 3.4.2 | Le « cyber » dans l'étude des risques technologiques | 17 |
| 3.4.3 | L'impact du numérique sur les organisations | 17 |
| 3.5 | Réindustrialisation | 18 |
| 3.5.1 | Une nouvelle révolution industrielle ? | 18 |
| 3.5.2 | Le développement de l'industrie « bas carbone » | 18 |
| 3.5.3 | Les défis structurels de la reconquête industrielle | 19 |
| 4 | Jeux d'acteurs | 19 |
| 4.1 | Dimension territoriale..... | 20 |
| 4.1.1 | L'échelle du territoire : si loin, si proche | 20 |
| 4.1.2 | La « territorialisation » des risques..... | 20 |
| 4.1.3 | Trajectoires des acteurs territoriaux | 21 |
| 4.2 | Visage(s) du savoir scientifique..... | 21 |
| 4.2.1 | La perte de confiance dans la science ? | 21 |
| 4.2.2 | Le contexte « brouillé » de la communication scientifique | 22 |
| 4.2.3 | L'évolution de la posture scientifique | 23 |
| 4.3 | Engagements citoyens | 23 |
| 4.3.1 | La construction d'une approche « éco-socio-technique » des risques | 23 |
| 4.3.2 | Le savoir et la contre-expertise citoyenne..... | 24 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.3 | Les risques au prisme du renouvellement démocratique..... | 25 |
| 4.4 | Rapport à l'innovation technologique | 25 |
| 4.4.1 | L'innovation technologique comme progrès ?..... | 25 |
| 4.4.2 | Un « changement de paradigme » en matière de technologie | 26 |
| 4.4.3 | Le périmètre des nouvelles formes d'innovation | 26 |
| 4.5 | Culture du risque | 27 |
| 4.5.1 | De la culture du risque à la culture de la résilience..... | 27 |
| 4.5.2 | Avatars de la culture de sécurité | 27 |
| 5 | Conclusions | 28 |
| 6 | Sélection de sources d'intérêt | 29 |
| 6.1 | Méthodes & modèles..... | 29 |
| 6.2 | Facteurs de risque | 30 |
| 6.3 | Jeux d'acteurs..... | 33 |

Résumé

Pour compléter ses activités de veille, scientifique comme stratégique, l'Ineris a commencé il y a quelques années à s'intéresser à l'apport de la prospective. La prospective est prise par l'Institut au sens de « grille de lecture » des tendances et des changements à venir, qui soit actionnable pour le guider dans l'anticipation des risques émergents dont il devra se saisir pour assurer sa mission d'appui aux politiques publiques. Dans cette logique, le Contrat d'objectifs et de performance (COP) 2021-2025 de l'Ineris affiche un objectif clair d'identifier des risques émergents en prenant comme point d'appui la veille prospective, dont le présent document est un premier rapport (jalon 38 du COP). L'Institut a porté une attention particulière au caractère participatif de la réflexion, en associant largement les parties prenantes intéressées dans la conception du rapport, qui se veut un document accessible à tous. Le rapport de veille prospective a ainsi bénéficié des enseignements tirés du séminaire annuel des orientations scientifiques et techniques, organisé le 23 mai 2023, ainsi que des échanges avec la Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE), instance de gouvernance « ouverte » de l'Institut.

Le présent rapport dresse un état des lieux de ce que l'Institut se propose d'explorer dans son activité de veille prospective. Ce panorama n'est volontairement pas exhaustif ; il met en relief les principaux enjeux auxquels l'Institut estime, à l'heure actuelle, devoir répondre. La veille ne porte pas seulement sur la détection de sujets techniques nouveaux ou évolutifs, mais sert aussi et surtout à repérer et analyser des facteurs indirects pouvant influencer sur la maîtrise des risques et les méthodologies associées. Le document est structuré en trois axes de veille :

- L'activité de veille prospective aborde en premier lieu la question des fondements théoriques et de la pratique à venir de « la science des risques ». Il s'agit de donner à voir les changements dans les méthodes, avec un questionnement autour des approches « intégrées », « systémiques » et « multi-risques », ainsi que les mutations des objets d'étude, au premier chef le modèle industriel, entre hyper-concentration et logique de « parcellisation ». Une place spécifique est réservée, dans le travail de veille, à la trajectoire du traitement de ce qui échappe ou résiste à la production de connaissance : à la fois ce qui n'est pas vu ou perçu, les angles morts, et ce qui est difficile à cerner, les incertitudes.
- Un thème central pour la veille prospective est représenté par la trajectoire du risque technologique lui-même. La réflexion de l'Ineris a donné la priorité aux facteurs externes pouvant constituer des forces motrices de la transformation des risques technologiques. A l'appui de la réflexion qu'il a menée en 2023, l'Institut a identifié plusieurs variables susceptibles d'infléchir profondément les objets de la « science des risques » dans les années à venir. Avec un parti-pris volontairement non exhaustif, l'Ineris a choisi d'approfondir cinq facteurs jugés structurants par rapport à ses missions, métiers et activités : l'impact du changement climatique ; la diffusion du concept de sobriété ; le caractère nécessairement « durable » des nouvelles technologies ; la « révolution » numérique et ses effets ; l'intérêt renouvelé dans le développement industriel.
- La veille prospective que l'Institut entend développer s'intéresse enfin aux profils des acteurs concernés par les risques technologiques, dont il fait lui-même partie. Il s'agit de suivre leurs trajectoires, leurs interactions et les formes d'actions qu'ils déploient sur la question de la maîtrise des risques. Communauté scientifiques et experts, acteurs économiques porteurs d'innovation, représentants de la société civile et citoyens... sont autant de catégories d'acteurs plurielles, évolutives, qui exercent une influence sur la façon dont l'Ineris est amené à assurer ses missions. Une attention particulière est accordée aux jeux d'acteurs se déployant à l'échelle d'un territoire, avec les dynamiques qui leur sont propres, ainsi qu'à leurs représentations socio-culturelles du risque technologique, qui s'incarnent dans les notions de « culture du risque » et « culture sécurité ».

L'état des lieux dressé par le présent rapport constitue un cadre structurant pour l'exploration des risques émergents, dont le produit sera mis à disposition des collaborateurs de l'Institut pour nourrir leurs travaux, ainsi que les échanges avec ses instances de gouvernance scientifique. Un deuxième rapport de veille prospective, inscrit au Contrat d'objectifs et de performance comme jalon pour 2025, aura vocation à creuser un ou plusieurs sujets identifiés dans le panorama des enjeux.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, rapport de veille prospective : panorama des enjeux pour l'identification et l'analyse des risques émergents : Panorama des enjeux pour l'identification et l'analyse des risques émergents, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 155295 - v1.0, janvier 2024/02/2024.

Mots-clés :

Risques émergents, veille prospective, analyse de risque intégré, interdisciplinarité, méthode multirisques, modèle industriel, incertitudes, agnotologie, sobriété, économie circulaire, changement climatique, transition numérique, intelligence artificielle, réindustrialisation, technologie durable/bas carbone, biodiversité, échelle territoriale, confiance dans la science, expertise scientifique, intégrité scientifique, médiation scientifique, désinformation, fake news, sciences humaines et sociales, engagements citoyens, recherche et science participative, contre-expertise citoyenne, asymétrie de connaissances, participation publique, démocratie / justice environnementale, innovation technologique, culture du risque, culture sécurité, prévention des catastrophes, gestion de crise.

1 Introduction

1.1 Pourquoi la veille prospective à l'Ineris ?

En tant qu'opérateur public de recherche et d'expertise dans le domaine des risques technologiques et des pollutions, l'Ineris met en œuvre, depuis sa création, une veille scientifique pour la conduite de ses travaux pluridisciplinaires. A cette activité traditionnelle de veille, est venue s'adjoindre il y a une quinzaine d'années un dispositif de veille stratégique qui s'articule autour de thématiques d'intérêt pour l'Institut. Le développement d'une approche prospective de la veille a été encouragé par le haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (HCERES) lors de sa première évaluation de l'Institut en 2014. L'Ineris s'est ainsi saisi de cette question de l'anticipation des risques émergents à l'échelle du pilotage global de ses activités, et a posé de premières bases de travail sur la période 2016-2020. Avec le Contrat d'objectifs et de performance 2021-2025, l'Ineris s'est donné un objectif de « poursuivre le développement des activités de veille pour identifier les risques émergents », en développant notamment une veille prospective. Le présent rapport de veille prospective constitue l'un des jalons de cet objectif.

Pour définir les contours de sa veille, l'Institut s'appuie sur le concept de prospective dite « institutionnelle ». Cette démarche méthodologique vise à ouvrir les horizons d'une organisation et proposer une grille de lecture des tendances et des changements à venir, qui soit directement utilisable pour orienter l'action concrète. Le parti pris de cette approche n'est pas de prédire ni d'analyser un futur probable, auquel est associé le plus haut degré de confiance, mais de se projeter dans des futurs possibles (tendances dites « lourdes », dans la durée, comme points de ruptures), pour être capable d'influer sur les facteurs déterminant la réalisation de ces possibles.

Par son parti pris systémique et ouvert, la veille prospective est un levier précieux pour l'Institut, dont l'objet principal présente un caractère de plus en plus transverse. L'Institut conçoit ainsi la dimension prospective comme un point d'appui pour assurer un rôle de « vigie », qui vise à repérer les transformations dans le domaine des risques entrant dans son périmètre. Dans un contexte sociétal de saturation médiatique et de profusion de connaissances accessibles, le défi majeur du traitement de l'information est moins de savoir où trouver les sources que d'être en mesure de les trier et de vérifier leur niveau de confiance. L'approche prospective peut ainsi améliorer la capacité de l'Institut à anticiper et prioriser les enjeux, défis et questionnements sur lesquels il va être attendu. Cette capacité d'anticipation se déploie à un double niveau : en permettant à l'Ineris de mieux conduire sa mission auprès de ses interlocuteurs externes ; et en rendant plus efficace, en interne, la programmation des travaux et le développement des compétences à l'Institut. La veille prospective devrait ainsi permettre de documenter les pistes de travail que la réflexion collective interne « Ineris 2035 » aura tracées.

La pratique prospective est par essence une activité mobilisant l'intelligence collective et l'Ineris porte une attention particulière au caractère participatif de son processus de veille. L'Institut s'efforce de contribuer aux travaux collaboratifs de prospective scientifique (réseau PROSPER, alliance Allenvi...) et au-delà (association Futuribles, *think tanks* comme La Fonda...), qui nourrissent en retour sa réflexion. L'Institut s'attache également à solliciter un « regard extérieur » à la vision encore plus large, en s'appuyant sur sa démarche, adoptée de longue date, de développement des interactions science société. C'est une volonté clairement affirmée de l'Ineris d'associer largement les parties prenantes de la société civile dans sa réflexion prospective. Le présent jalon a ainsi bénéficié des enseignements tirés du séminaire des orientations scientifiques et techniques de l'Institut, organisé le 23 mai 2023 sur les risques émergents, ainsi que des échanges avec l'instance de gouvernance « ouverte » de l'Ineris, la Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE).

1.2 Comment traiter l'horizon des risques émergents ?

Le champ de la veille prospective que l'Ineris a souhaité mettre en place se déploie sur son périmètre d'activités, mais ne s'y limite pas. Les risques émergents auxquels s'intéresse l'Institut couvrent le domaine des « risques technologiques », dans l'acception qui en est faite par les politiques publiques environnementales (par opposition à la notion de risque naturel). Produits de l'action humaine, les risques technologiques sont générés par les activités utilisant des substances dangereuses de toute nature (substances chimiques, radiologiques, biologiques, agents physiques comme les champs électromagnétiques...). L'Institut dispose de compétences fortes dans le domaine des risques chimiques et des risques en lien avec l'exploitation du sous-sol ; elles portent sur l'évaluation des dangers, des

risques et des impacts, pour l'humain, les écosystèmes et les biens matériels. Ces compétences embrassent la question des risques à deux niveaux : en lien avec une situation accidentelle et en lien avec une contamination diffuse et durable de l'environnement. L'Institut conçoit son approche de façon intégrative, sur l'ensemble du cycle de vie d'un polluant, de sa production à sa fin de vie, et à toutes les échelles de gestion des risques (risques inhérents à la substance, risques liés au process industriel, risques générés par le site industriel, risques sur le territoire).

Faire des risques émergents un objet de veille nécessite quelques précautions propres à l'usage généralisé du qualificatif « émergent » : la notion d'émergence est polysémique, et sa définition, empreinte de subjectivité, est variable en fonction des contextes. Pour qualifier le risque, elle pose notamment une question de temporalité, dans un processus de production de connaissances qui se conçoit comme continu : sur quels critères estimer qu'un risque passe de « futur » à « émergent » puis « émergé » ? Les travaux en sciences humaines et sociales ont montré la complexité des critères de définition d'un risque émergent¹ (prise de conscience de l'existence du risque, horizon temporel d'apparition, caractère nouveau, évolution de la fréquence, importance des conséquences, degré d'incertitude...). Dans le cadre du présent travail, l'Ineris conçoit le « risque émergent » comme un processus conduisant à faire évoluer le panorama des risques connus. La veille vise à en détecter et comprendre les mécanismes, en s'appuyant sur le concept de « signal faible » tel que défini par les travaux en intelligence économique et en veille stratégique.

La dimension prospective que l'Ineris souhaite donner à son activité de veille suit un principe d'« ouverture d'horizon », par rapport à l'approche de surveillance actuellement appliquée aux risques technologiques, plus cloisonnée et technique. La veille prospective vient en complément des logiques d'entrée par disciplines scientifiques académiques ou par innovations technologiques. Les échanges de l'Institut avec ses parties prenantes, en particulier dans le cadre de la Core, ont confirmé qu'il ne s'agit pas seulement de détecter des sujets techniques nouveaux ou évolutifs, mais aussi d'identifier ce qu'il y a « autour du risque » et son interaction avec lui. La veille doit permettre d'analyser des éléments « contextuels », des facteurs indirects pouvant influencer sur la maîtrise des risques et les méthodologies associées.

En accord avec ces partis-pris, le présent rapport s'efforce de broser un état des lieux de ce que l'Institut se propose d'explorer dans son activité de veille prospective. Cet état des lieux n'a pas vocation à être exhaustif ; il vise à dresser un panorama des principaux enjeux auxquels l'Institut estime actuellement devoir répondre. Le rapport est conçu comme un document accessible à tous, experts comme non-initiés. Il est structuré en trois axes de veille : un volet « métier du risque », incluant les questionnements qui pourraient faire évoluer les méthodes de travail et les objets d'études ; un volet « thématique de risque », qui répertorie des facteurs clefs susceptibles de transformer durablement et profondément les risques sur lesquels l'Ineris travaille ; un volet « acteurs du risque » qui s'intéresse aux profils d'acteurs avec lesquels l'Ineris interagit directement ou indirectement et leur capacité d'influence sur la maîtrise des risques.

2 Méthodes et modèles pour l'évaluation des risques

En plaçant la veille prospective à l'interface de sa stratégie et de sa politique scientifique, l'Ineris ne peut faire l'économie d'une approche prospective et réflexive de son métier. L'activité de veille prospective aborde donc la question des fondements théoriques et de la pratique à venir de « la science des risques ». Il s'agit de donner à voir les changements dans les concepts, les méthodes et les objets d'étude, ainsi que leurs conséquences éventuelles sur les pratiques. En complément, une place particulière est réservée, dans le travail de veille, à la trajectoire du traitement de ce qui échappe ou résiste, d'une certaine manière, à la production de connaissance : à la fois ce qui n'est pas vu ou perçu, les angles morts, et ce qui est difficile à cerner, les incertitudes.

2.1 Approches intégrées, risques systémiques et multirisques

En regard des approches plus conventionnelles qui décrivent un risque par une relation entre une cause et des effets relativement bien cernés dans le temps et dans l'espace (par exemple le lien entre maladies cardio-vasculaires et sédentarité), l'évaluation systémique des risques se caractérise par l'exploration

¹ Voir par exemple MAZRI, C., LACLEMENCE, P., DELATOUR, G., CALCEI, D. *De l'émergence dans les risques émergents*, janvier 2014.

de la complexité accrue par des effets de bord, des effets non linéaires et des relations stochastiques entre un ensemble de causes et de paramètres et les effets produits (Renn et al., 2022). La pertinence de mettre en œuvre cette démarche est clairement établie par le cadre de Sendai 2015-2030 porté par les Nations Unies pour la réduction et la prévention des risques de catastrophes naturelles et technologiques (UNDRR & ISC, 2020). Ainsi aborder la question des risques systémiques nécessite de développer une vision intégrée des enjeux, qu'il s'agisse des risques naturels et technologiques, des menaces environnementales, des questions liées à la cybersécurité ou de l'impact des crises financières, économiques ou géopolitiques.

Par ailleurs, dans une revue documentaire consacrée au sujet, (Allard et al., 2021) propose une définition du terme « multirisques » comme la concomitance spatiale et/ou temporelle d'événements dangereux de différentes natures pouvant se produire de façon simultanée, en cascade ou de façon cumulative et susceptibles de produire d'éventuels effets néfastes concomitants.

La conception d'approches multirisques déclinées dans l'analyse des catastrophes et des situations de gestion de crise ou de méthodes d'évaluation de risques systémique est encore relativement récentes et fait toujours l'objet de travaux de recherche. En effet, à cause de la complexité induite par l'imbrication et la diversité des questions, des nombreuses incertitudes entourant leur qualification amplifiées par le manque de données (tant pour la mise au point des méthodes que pour leur vérification), du cadre non stationnaire induit par certains facteurs « externes » (tel que le changement climatique, l'urbanisation et l'occupation de sols) les méthodes traditionnelles basées sur la sûreté de fonctionnement et les arbres de défaillance, sur la modélisation dynamique des systèmes, sur les méthodes bayésiennes... doivent encore être adaptées.

L'Ineris est un terrain particulièrement propice à une veille et une analyse de l'intégration des méthodes, du fait de la diversité de ses approches du risque (risque accidentel, chronique, souterrain). En réalité, l'Institut développe le caractère intégratif de ses métiers depuis les années 2000 et avait déjà acté dans son contrat d'objectifs et de performances 2021-2025 le besoin d'anticiper les problématiques multirisques et systémiques et d'adapter ses méthodes. Des réflexions autour de l'intégration des menaces et facteurs externes, de la cybersécurité, du risques « natech » dans ses méthodologies d'analyse des risques accidentels sont d'ores et déjà menées. La formalisation et la structuration d'un « continuum » d'expertise sur la qualité de l'air (sources-mesure-impacts-stratégies de réduction), le développement d'une approche intégrée de caractérisation des expositions environnementales « sources-vecteurs-cibles » sont en cours.

Pour aller plus loin, il sera nécessaire de négocier le passage d'un mode pluridisciplinaire (les expertises se coordonnent mais conservent chacune des objectifs et des méthodes spécifiques) à un mode interdisciplinaire (les expertises se donnent un objectif commun et articulent leurs méthodes de façon cohérente). La mise en lien des champs disciplinaires les plus variés reste un enjeu fort et un vrai défi. En témoignent les efforts de développement, avec les débats qui les accompagnent, de concepts intégrés à vocation structurante, comme, dans le domaine de la santé, ceux de *One health* ou *Planetary health*. La veille prospective doit également s'attacher à détecter les questions et les solutions associées à la prise en compte de toutes les difficultés liées à la non-linéarité des systèmes étudiés et aux nombreuses rétroactions qui impactent les réponses proposées pour maîtriser les risques. La question de la validation des méthodes reste prégnante : comment concevoir un processus de validation ou de vérification d'approches abordant la résolution de systèmes complexes dans un contexte d'incertitudes élevées (phénomènes ou rétroactions mal connues, peu de données disponibles...) et pour des problématiques dont l'occurrence est, fort heureusement, rare ?

2.2 Modèles industriels

2.2.1 La disparition progressive du modèle industriel connu ?

« L'industrie » est l'un des termes les plus fluctuants du vocabulaire économique moderne, recouvrant des réalités variables selon les lieux et les époques. Dans les pays occidentaux, les représentations du modèle industriel sont indissociables des révolutions des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles, abondamment décrites et analysées par l'histoire économique contemporaine. D'une notion large englobant toute activité créatrice de richesse, l'industrie s'est progressivement restreinte à désigner la transformation, à grande échelle, de matières premières en produits manufacturés, et plus particulièrement l'industrie dite « lourde » fondée sur l'exploitation de ressources fossiles (par opposition à l'agriculture et au

commerce). Repérer les évolutions du concept d'industrie, de ce qu'il désigne et des usages qui en sont faits peut permettre d'éclairer l'Institut sur les contours de son objet d'étude (Breque et al., 2021).

Aujourd'hui, l'étude des risques technologiques s'appuie sur un modèle industriel conçu comme une activité exercée sur les territoires en site clos, au périmètre délimité. Elle est organisée par secteurs économiques ayant défini leurs spécificités, avec une approche structurée de la sécurité et soumises à des obligations réglementaires plus ou moins fortes, en fonction du degré de risque qu'elle présente (logiques européennes Seveso et Euratom, notion française d'installation classée pour la protection de l'environnement – ICPE ou d'installation nucléaire de base – INB). Or ce modèle ne constitue déjà plus le modèle unique, voire ne sera peut-être plus le modèle dominant à l'avenir. Afin de pouvoir adapter l'évaluation et la maîtrise des risques, il convient de surveiller les mutations des modèles industriels. Il s'agit aussi de suivre les évolutions des « risques technologiques majeurs » (chimique, nucléaire, biologique...) qui structurent les politiques publiques de gestion des activités industrielles à risque, et leur place dans la gestion publique des risques (Cour des comptes, 2023). Il est intéressant à ce titre de suivre les interactions grandissantes entre les différents modèles, qu'il s'agisse d'installations fixes ou de réseaux. Un autre enjeu à appréhender est par exemple la mise en pratique, au sein de ces organisations, des nouveaux modèles de gouvernance en lien avec l'urgence climatique et écologique : responsabilité sociétale des entreprises/organisations, *Corporate Sustainability*, *Ecological Accounting*, etc. (Feger et al., 2021).

2.2.2 Gigafactories et industrie « hors les murs »

Un traitement particulier est apporté par la veille prospective avec deux tendances de fond déjà identifiées, à l'échelle française dans la mutation des modèles industriels, et portées par des dynamiques divergentes : l'hyperconcentration et la logique de maillage spatial. Il apparaît ainsi important de suivre le mouvement des *gigafactories* et des *hubs* industriels, incarnations d'un phénomène de concentration des activités motivé par les économies d'échelle et la nécessaire mutualisation des ressources. Les nouvelles technologies de l'énergie sont un terrain particulièrement propice pour analyser les trajectoires de ces modèles industriels, comme en témoignent le stockage électrochimique de l'énergie. Il s'agit, par une meilleure compréhension du fonctionnement, des jeux d'acteurs, de pratiques, d'analyser les conséquences de ces modes d'organisation sur l'évaluation et la maîtrise des risques. Cela permettra par exemple d'étudier l'impact de cette concentration sur les effets domino et les effets cascade, sur le risque pour l'environnement et la santé, sur la gestion coordonnée des risques, etc. Ce modèle comporte également des enjeux liés à l'automatisation et la robotisation des tâches, qui déportent le facteur humain du risque sur la cybersécurité et l'appropriation des technologies numériques.

Dans un élan inverse, la veille s'intéresse au développement de modèles industriels fortement déconcentrés, motivés par la nécessité d'un maillage territorial fin pour déployer efficacement les technologies de transition. Cette logique de « parcellisation » est en particulier observable dans la mise en œuvre de la transition énergétique (méthanisation, énergies renouvelables, valorisation énergétique de la biomasse, etc.). Dans un contexte de crise climatique et écologique, les enjeux de raccourcissement des chaînes de valeurs, d'adaptation des moyens et des ressources, conduisent à « faire sortir » le risque technologique des installations industrielles traditionnelles pour essaimer sur l'ensemble d'un territoire. Ce modèle industriel est étroitement lié à la trajectoire de l'écologie industrielle. Le regard doit se porter sur l'impact du changement d'échelle sur la maîtrise des risques, dans toutes ses dimensions : taille des unités de production, pratiques de sécurité, cadre réglementaire, jeux d'acteurs, question de la mise en réseau des activités... Il convient de traiter également comment ce déploiement en maillage peut s'articuler, dans l'aménagement du territoire et la gestion des risques technologiques, avec des foyers d'hyper-concentration industrielle.

2.3 Incertitudes et « angles morts »

2.3.1 Les multiples facettes du traitement des incertitudes

Les enjeux actuels autour du traitement des incertitudes scientifiques sont étroitement liés aux évolutions du rapport au temps qu'ont connues les sociétés occidentales contemporaines, avec la crise des idéologies, l'abandon de l'idée de progrès (au profit de celle d'innovation, cf. infra) et l'avènement d'un monde sécularisé et fini. « Les temps modernes » se caractérisent depuis le XIX^{ème} siècle par leur rupture avec le passé comme grille de lecture du monde, au profit du futur. Ce modèle a connu une profonde mutation, avec l'irruption du présent et du temps court comme moteur de l'action (Hartog, 2022), sous l'influence des transformations du monde dont le dernier quart du XX^{ème} siècle a été le

théâtre (instabilités géopolitiques, crise climatique et écologique...). Le travail scientifique se déploie dans un contexte rythmé par le « temps mondialisé », l'instantanéité, et marqué par un phénomène d'accélération généralisée (techniques, changements sociaux, vie personnelle...). Ce rythme est aussi caractérisé par une désynchronisation du temps politique, par nature « temps long », avec celui des changements sociaux, techniques, écologiques... ce qui rend plus difficile l'action publique (Futuribles, 2023). Cette temporalité, dont il convient de suivre les trajectoires, laisse une plus grande place à l'incertitude, les acteurs scientifiques disposant d'un temps plus court pour produire de la connaissance sur un objet, puis rassembler et analyser les éléments objectifs nécessaires à l'évaluation de ses effets ou conséquences. Ce phénomène est amplifié par le défi écologique et climatique (De Ruiter et al., 2022 ; Sinonvirgule, 2023) : l'étude des risques porte désormais sur des objets présentant des caractéristiques inédites d'imprévisibilité, d'instabilité, de non-linéarité, d'interdépendance dont il est nécessaire de suivre l'impact sur l'analyse et le traitement des incertitudes. A cela s'ajoute le problème de la disponibilité des données qui permettent de documenter ou de réduire les incertitudes. L'analyse d'événements ou d'enchaînement d'événements extrêmes ou à faible probabilité d'occurrence ne permet pas d'appréhender quantitativement ces incertitudes, même si on se limite à considérer leur propagation sur les composantes relevant des « sciences dures » (donc supposées plus facilement objectivables) de la question. D'où l'importance de maintenir une veille sur les expériences réalisées et la mise à disposition de données.

Par ailleurs, le calcul des incertitudes doit tenir compte des conditions dans lesquelles l'évaluation des risques se déroule : elles manifestent, elles aussi, un caractère plus incertain et instable qu'auparavant (OCDE, 2021 ; EPRS 2022 ; Gaub, 2019 & 2021). La maîtrise des risques est certes un produit technique et réglementaire, mais aussi le produit de conventions et normes sociales, de choix et arbitrages politiques (Bourg et al., 2013). Ainsi, le terme de « transition » traduit imparfaitement le paradoxe qui s'est installé pour la science des risques : un nécessaire temps long et progressif pour s'adapter aux changements majeurs, et le caractère imprévisible et imminent des mouvements amorcés. A cet égard, il est utile de s'intéresser à la place que l'urgence, les crises et les ruptures prennent dans la gestion publique (UNDRR, 2022) ; cette question appelle à suivre comment se déploiera la capacité d'anticiper ces ruptures (Bergeron et al., 2020) et comment la gestion de crise s'articulera avec les stratégies de transition. Dans un autre registre, les notions d'inégalité (sociale, économique, culturelle...) et d'irrégularité prennent une importance nouvelle dans la gestion des risques (France Stratégie, 2022). Une dimension qui reste également d'intérêt est la trajectoire que peut prendre l'application du principe de précaution dans la décision publique (APD, 2020).

2.3.2 Angles morts et zones d'ignorance dans l'étude des risques

Un des enjeux de la veille est de mettre en lumière les « angles morts » d'un sujet mobilisant la science des risques. Il s'agit de repérer les travaux qui identifient l'absence ou l'insuffisance de données et de connaissances sur un ou plusieurs aspects d'une question, pour pouvoir suivre et exploiter le traitement de ces « lacunes », voire orienter l'activité de l'Institut sur des champs d'étude et de recherche non défrichés. Ces « angles morts » sont suivis avec une entrée thématique, qui s'appuie, entre autres, sur le repérage d'analyses bibliométriques, d'état de l'art de la littérature scientifique, ou de feuilles de route à horizon temporel large (Mastrangelo et al., 2019). La veille vise également une entrée plus systémique et réflexive, qui traite des besoins en matière de pratiques et de structuration de la communauté scientifique, à toutes les échelles, nationale, européenne et internationale, comme l'illustrent les travaux de la Commission dédiée aux missions de la science pour le développement durable de l'*International Science Council* (ISC, 2021 et 2023). Dans le domaine de l'expertise sur les risques, il est également intéressant d'identifier les points de convergence et de divergence, sur des questionnements techniques, entre des approches politiques et réglementaires distinctes (sécurité industrielle, santé et sécurité au travail, santé publique, préservation de la biodiversité...). Le comparatif peut faire ressortir l'existence « d'angles morts » dans le traitement d'une question, le repérage de ces « vides » étant facilité par le degré d'influence réciproque de ces approches sur les travaux scientifiques à réaliser.

Pour aller plus loin, la veille peut apporter des éléments sur les « zones d'ignorance » de la science, que les sciences humaines et sociales étudient depuis plusieurs années (Girel, 2017). Les travaux en « sociologie de l'ignorance » (agnologie) ont montré que l'absence d'études scientifiques pouvait être le produit de mécanismes socioculturels, pour certains « intentionnels » (Henry, 2021). La mise à l'écart de certains risques résulte ainsi d'une stratégie voulue et assumée de la part d'acteurs, qui n'ont pas intérêt à ce que de la connaissance soit produite : le lobbying de l'industrie du tabac par rapport à l'impact sanitaire de la cigarette en est un exemple. Les études les plus récentes ont porté leur attention sur le caractère parfois faiblement structuré, « involontaire » et systémique des mécanismes en jeu : invisibilité sociale, déficit de mémoire institutionnelle, incomplétude des savoirs, poids des fonctions de

contrôle (*gate-keepers*), biais des dispositifs de régulation... autant de processus qui favorisent l'action ou l'inaction publique (Boudia et al., 2022). La science non faite (*undone science*) peut aussi résulter d'un processus plus complexe d'interactions, ou d'absences d'interactions entre des acteurs, experts, décideurs publics, acteurs économiques, société civile (RAC, 2021). Ces processus empêchent ou retardent, de façon involontaire, la problématisation, le traitement scientifique ou la mise à l'agenda politique d'une question de risque, malgré l'existence de signaux faibles : par exemple, le traitement de l'impact sanitaire des pesticides sur les agriculteurs (Jouzel, 2019 ; Dedieu, 2022). Dans cette même perspective, il est intéressant de suivre les travaux sur l'(in)action publique au prisme de la gestion de crise, en particulier le défaut de traitement des signaux d'alerte préexistants à une catastrophe.

3 Facteurs de risques

Un thème central, qui semble évident, pour la veille prospective de l'Institut, est représenté par la trajectoire du risque technologique lui-même. Cette évidence n'en est pourtant pas une, tant la transversalité et l'étendue du sujet rend complexe la conduite de la démarche. Au cours de sa réflexion, l'Ineris a cadré son approche en donnant la priorité aux facteurs externes pouvant constituer des forces motrices de la transformation des risques technologiques. A l'appui d'exercices de prospective récents et de la réflexion partagée qu'il a menée en 2023, l'Institut a identifié plusieurs variables susceptibles d'infléchir profondément ou durablement les objets de la « science des risques » dans les années à venir. Avec un parti-pris volontairement non exhaustif, l'Ineris a choisi d'approfondir cinq facteurs jugés structurants par rapport à ses missions, métiers et activités : l'impact du changement climatique ; la diffusion du concept de sobriété ; le caractère nécessairement « durable » des nouvelles technologies ; la « révolution » numérique et ses effets ; l'intérêt renouvelé dans le développement industriel.

3.1 Changement climatique

Depuis quelques années, les effets du changement climatique se manifestent, sous différentes formes, dans tous les continents et dans les différents secteurs d'activité de la société (OCDE, 2022 ; Anisimov et al., 2023). Originellement plutôt associés aux risques dits « naturels », du fait de la modification des différentes composantes du système terre (hydrosphère, cryosphère, biosphère...), il ne fait plus aucun doute que le réchauffement impacte entre autres, les secteurs des transports, de l'énergie, de l'agriculture et de l'industrie, avec une double lecture. D'une part, la société met en œuvre des stratégies visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre (décarbonation) et donc les effets du réchauffement, ce qui conduit à des stratégies ou alternatives innovantes (OCDE, 2023), qui peuvent parfois générer de nouveaux risques. La prise de conscience du changement climatique comme donnée d'entrée de l'étude de risques de différente nature n'est pas un sujet nouveau à l'Ineris : événements extrêmes et risques NaTech, interactions qualité de l'air-climat, impacts sur les mouvements gravitaires sont autant de sujets ayant déjà fait l'objet de travaux de recherche et d'appui aux pouvoirs publics. Mais cette tendance pourrait se systématiser à tous les risques et un plus large panel d'applications, ce qui peut conduire à faire évoluer les méthodes d'évaluation, d'où l'importance de mener des actions de veille spécifique sur les liens entre mécanismes climatiques, risques technologiques et pollutions environnementales.

Les aléas possibles et des menaces physiques associées aux changements climatiques dans les domaines industriels concernent l'ensemble de la chaîne de valeur, en incluant l'amont (fournisseurs, réseaux d'approvisionnement, travailleurs) et l'aval (distribution des biens et de services) des bâtiments et des procédés industriels (France Stratégie 2022). Il est d'usage de distinguer deux types d'événements climatiques : les événements graduels (hausse des températures, modification du régime des précipitations, stress hydrique et dégradation de la qualité des eaux, érosion côtière) et les événements extrêmes (vagues de chaleur, feux de forêt, précipitations et vents extrêmes, inondations, glissements de terrains...). Des travaux ont été menés (ADEME, 2022 ; Bafoil, 2022 ; Lepensant, 2022) pour identifier les mesures d'adaptation et de mitigation qui pourraient être mises en place et pour recenser un certain nombre de sources d'information, mais la question qui occupera l'évaluateur de risque dans le futur est leur prise en compte dans les méthodologies d'évaluations et, éventuellement l'adaptation de celles-ci.

Au-delà de l'impact des phénomènes, une autre dimension à investiguer est celle des risques liés à la transition bas carbone en réponse aux changements climatiques. Par exemple, la mise en œuvre de solutions de décarbonation sur les sites industriels ou la transition des énergies fossiles vers des énergies renouvelables ou décarbonées (hydrogène, ammoniac) peut avoir un impact sur la nature des

risques industriels et des pollutions environnementales (nature des polluants rejetés, innovations technologiques, risques liés à la circularité...).

Les interactions entre changements climatiques et risques technologiques ne font pas l'objet d'une littérature très fournie à ce jour. D'ailleurs le sujet n'est qu'effleuré dans le sixième et dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et ne fait l'objet d'aucun chapitre spécifique. Le prochain rapport spécial sera focalisé sur la ville et il sera intéressant de suivre ces travaux.

Enfin, dans une logique d'approche systémique, la veille portera également sur l'articulation entre la lutte contre le changement climatique et d'autres enjeux planétaires comme la préservation de la biodiversité par exemple, souvent traités de façon séparée (Bulkeley et al., 2023 ; Eberle et al., 2023). Pour une vision intégrative des risques, il convient de se pencher sur l'analyse des enjeux convergents et divergents, du point de vue des risques naturels et technologiques.

3.2 Sobriété(s)

3.2.1 L'émergence d'une voix/voie de la sobriété

L'urgence écologique a stimulé la prise de conscience collective de la finitude des ressources naturelles et de l'impossibilité de les exploiter de façon illimitée. Ce constat a ranimé le débat autour de la légitimité et la pertinence du modèle économique unique de croissance continue : les logiques économiques sont appelées à évoluer pour répondre aux défis climatiques. L'une des voies pour y parvenir, qui suscite un intérêt croissant, est d'intégrer plus ou moins fortement des pratiques de sobriété (CDC, 2022), dont le concept a émergé dans le débat public au début des années 2000. Le 6^{ème} rapport du GIEC définit la sobriété comme un ensemble d'actions permettant de réduire, voire éviter la consommation de ressources, tout en assurant le bien être des humains et en s'inscrivant dans les limites planétaires. La sobriété devient un levier crédible pour atteindre la neutralité carbone (Futuribles, 2020 ; Ademe, 2021 ; Brand, 2022) ; elle constitue aussi un concept structurant pour aborder, au travers de la notion de découplage de la croissance, la question du pic (puis de la raréfaction) des ressources, en particulier les ressources énergétiques fossiles. Modération, frugalité, simplicité, austérité... le caractère polysémique du terme et la plasticité du concept appellent une grande diversité de déclinaisons concrètes et de multiples façons de s'approprier la sobriété, qu'il convient d'analyser (Goulet et al., 2022 ; Comité 21, 2022). Il est notamment intéressant de voir comment les mesures de sobriété s'intègrent dans les politiques publiques, quels domaines elles investissent, et comment elles coexistent avec d'autres approches plus anciennes (rationalisation, efficacité énergétique...).

Investiguer les contours de cette voie de développement, pour y repérer les enjeux de risque, nécessite également de suivre les trajectoires des débats que l'intérêt renouvelé pour la sobriété engendre. Il s'agit par exemple de suivre l'analyse critique de la réponse apportée par l'économie de croissance à l'impératif de neutralité carbone, au travers de la notion d'effet rebond des initiatives vertueuses, de l'absence de durabilité des biens ou de la complexification des solutions technologiques (Veltz, 2022). La sobriété posant le postulat d'une nécessaire diminution de la demande, une autre dimension à appréhender est le débat sur la sobriété comme forme de « décroissance » et la posture des acteurs dans cette controverse. Il convient également d'explorer les différentes échelles auxquelles les pratiques se conjuguent, et leurs conséquences : les comportements individuels, l'approche collective qui mobilise l'aménagement du territoire, et la logique structurelle qui pourrait s'appliquer à l'économie tout entière. Une partie des débats porte sur le rôle de la dimension « locale » dans les pratiques, ses bénéfices et ses limites, avec les questionnements autour de l'articulation national/local, et les formes qu'elle peut prendre. La diffusion, l'appropriation du concept de *low tech* (basses technologies) et ses mises en application concrètes sont un autre objet de la veille (LPE, 2020 ; La Fabrique écologique, 2021). Les *low tech*, dont les principes (utilité, accessibilité, durabilité) ne sont pas nouveaux, connaissent un regain d'intérêt dans le cadre d'une démarche de « techno-discernement » tentant de réconcilier innovation et post-croissance.

3.2.2 La circularité au cœur du système

L'économie circulaire, déjà considérée comme un enjeu majeur des transitions, est indissociable de la dynamique de sobriété. Compte tenu de l'accélération de la crise environnementale, elle prend une dimension fortement structurante pour le devenir des sociétés occidentales. La veille doit être poursuivie et renforcée pour cerner la construction du récit « utopique » de l'économie circulaire, et mieux appréhender les évolutions du concept de circularité : sa définition très large et ses mises en œuvre

concrètes font l'objet de nombreux travaux d'analyse critique (Aggeri et al., 2023). Ces travaux, qui analysent les limites de la théorisation actuelle du concept, mettent notamment en avant l'absence d'articulation forte avec la notion de sobriété (diminution de la demande) et plaident pour un renouvellement de l'approche (notion de « permacircularité », opposition entre circularité faible/forte, etc.). Il est également intéressant de voir quelle relecture pourra être faite du rôle de la réduction et du recyclage des déchets, aujourd'hui prédominant dans les politiques publiques, dans la dynamique de circularité. Le traitement global, dans les politiques publiques, de la question de la circularité dans la production industrielle est à cet égard un enjeu d'intérêt, notamment dans l'optique de traiter des risques liés à l'usage de matières premières dites « secondaires ».

Explorer les futurs de l'économie circulaire requiert de suivre les différentes formes qu'adopte la mise en œuvre d'une conception qui n'est plus strictement linéaire du fonctionnement de la société. L'économie de la fonctionnalité, de l'écologie industrielle et territoriale, l'éco-conception sont autant de processus qui peuvent générer de nouveaux risques, faire persister des risques existants ou encore faire réapparaître des risques qui avaient disparu. Il convient ainsi d'en analyser les atouts et les limites, la gouvernance et les difficultés de mise en œuvre ; la veille doit permettre d'appréhender les mutations des concepts, des méthodes, des pratiques dans ces différents domaines. Il est également important de porter le regard au-delà des périmètres déjà investis par l'Institut : l'approvisionnement durable, l'allongement de la durée de vie et d'usage des objets (réparabilité, réemploi...), le développement des diverses formes d'économie collaborative sont également des sujets d'intérêt dont il faut décrypter les enjeux à venir et les angles morts (Perret, 2019).

3.2.3 Retour à l'humain & incertitude radicale

Initialement introduite dans le modèle économique dominant, la sobriété acquiert de plus en plus de cohérence comme choix de société, plutôt que relevant du seul comportement individuel ou de groupe. Erigée en modèle social alternatif, la sobriété sort de son sens strictement économique pour acquérir une dimension éminemment politique (Villalba et al., 2018). Dans cette perspective, la sobriété est considérée comme une façon de repenser et renouveler la démocratie dans un monde post-croissance et surtout « post-carbone ». Détachant la société du rapport à l'énergie sous l'angle de l'abondance, la sobriété est conçue comme un levier d'action sur les inégalités (précarité énergétique), les normes sociales et le débat démocratique. Il semble utile de suivre les trajectoires que cette conception holistique de la sobriété peut prendre, et ses effets sur les politiques de gestion, en analysant par exemple les réalités que recouvrent les questions de sobriété « subie » et sobriété « volontaire », les travaux sur la « sobriété désirable », la sobriété comme levier de souveraineté ou de *leadership* international.

Dans cette optique, le caractère incertain d'un monde (plus ou moins) volontairement sobre doit être anticipé. En effet, ce type de projet de société redonne une place centrale et de premier plan à l'acteur humain et à l'immatériel, en encourageant un moindre recours à la technologie. Ce changement de perspective peut provoquer une reconfiguration radicale de la hiérarchisation, voire de la gestion, des risques, entre risque chimique et microbiologique, entre risque environnemental et risque au travail, etc. Ce « retour à l'humain » est perceptible dans les doctrines macroéconomiques et politiques fondées sur les relations humaines, comme la théorie des « capacités », i.e. capacités à faire (Pommerieux et al., 2021), ou l'éthique du *care* (sollicitude). Par ailleurs, la sobriété comme choix de société peut signifier le retour en grâce du concept de « communs » en économie et en politique. Les « communs », dont il convient de suivre les contours et les trajectoires (Marella, 2016 ; Alix et al., 2018), se posent comme une alternative à la logique de privatisation et marchandisation des ressources, qui va à l'encontre des défis planétaires à relever. Les communs ne relèvent ni de la gestion publique, ni de la gestion privée, mais d'une communauté qui définit leurs règles de partage, d'usage et de conservation : ce type de système peut changer la façon de voir et traiter les risques. La notion nécessite d'être appréhendée à différentes échelles spatiales et dans ses différentes dimensions, les communs pouvant porter sur n'importe quel type de ressource (naturelle, matérielle, immatérielle).

3.3 Technologies à l'ère de l'Anthropocène

3.3.1 L'essor des technologies vertes / bas carbone

La veille technologique s'organise traditionnellement selon une approche « techno-scientifique » de l'innovation *stricto sensu*, qui détecte et suit le développement de nouvelles technologies, pour, dans le cas de l'Ineris, en analyser les dangers, risques et impacts associés. Dans un contexte géopolitique mondial déstabilisé et affecté par l'accélération des phénomènes climatiques et l'effondrement de la

biodiversité, la veille prospective s'intéresse principalement à la tendance de fond des développements technologiques qui intègrent les enjeux de transition et/ou ambitionnent d'y apporter une réponse (technologies « vertes », « bas carbone », « durables », « propres »...). Dans cette perspective, le travail de veille consiste à examiner les facteurs qui peuvent influencer positivement ou négativement sur le développement de ces nouvelles technologies (Futuribles, 2023 ; EC, 2023 ; Matti et al., 2023). Ainsi, la tendance de fond qui pose la préservation du vivant comme un impératif (Diaz et al., 2022 ; FRB, 2023) nécessite d'observer comment peuvent évoluer les logiques de protection (conservation des espaces et des espèces, démarche graduée « Eviter-Réduire-Compenser »...) et le droit de la nature et des animaux (personnalité juridique, bien-être animal, etc.). La reconnaissance d'une appartenance à une seule et même biosphère et la prise en considération de l'interdépendance de l'humanité avec les écosystèmes peuvent aussi être des facteurs structurants (Visseren-Hamakers et al., 2022), voire une source d'inspiration pour l'innovation (biomimétisme, bioéconomie...) dont il convient de suivre la trajectoire (Mora, 2023).

La veille doit aussi permettre d'appréhender les technologies compatibles avec les enjeux écologiques dans leurs caractéristiques propres (GESDA, 2023). Il convient de se pencher, pour une technologie donnée, sur le concept qui la sous-tend, son évolution dans le temps, le cadre contraignant dans lequel on l'inscrit, autant que sur les objets techniques qu'elle participe à produire. Les buts recherchés dans ces formes d'innovation au service de l'environnement, très divers, nécessitent d'être analysés : contrôler, à tout le moins atténuer les effets du climat ; compenser les impacts de l'action humaine ; modifier le vivant pour l'aider à s'adapter... Energies renouvelables & électrification (WWF, 2022), géo-ingénierie (Pavel, 2022), biotechnologies et biologie de synthèse (LEEM, 2020), chimie durable & biosourcée (Balan et al., 2023) sont autant d'exemples à étudier de filières technologiques susceptibles de devenir un levier central des transitions, mais qui génèrent des risques pour l'humain et les écosystèmes. Il s'agit par exemple d'anticiper les dangers de nouvelles molécules venant se substituer à d'autres, ou l'impact des rejets de nouvelles substances ou procédés. Une autre dimension à appréhender est par exemple la « résilience » du vivant, sa capacité à s'adapter à un environnement dégradé, et les opportunités et menaces que cela peut générer (concept de « troisième nature », etc.). Lorsqu'elles s'appuient sur des modes inédits de développement, ces nouvelles technologies peuvent être à l'origine d'inflexions, qui restent à cerner, dans les méthodes et pratiques mises en œuvre pour garantir un niveau satisfaisant de maîtrise des risques, et dans la façon dont les acteurs s'approprient les enjeux de risque.

3.3.2 Le décryptage des jeux d'acteurs de la croissance verte

Le caractère « vertueux » de ces technologies nécessite de saisir les jeux d'acteurs qui se déroulent dans le processus d'émergence et de déploiement qui leur est spécifique. Cela pose la question de la temporalité de l'innovation. L'urgence d'apporter des réponses à l'urgence climatique, à la maîtrise des impacts environnementaux et sanitaires, à la sobriété crée une dynamique et stimule les développements technologiques dans des temps parfois très courts au sein de start-up et PME travaillant dans un mode très agile, qui ne doivent cependant pas préempter le temps nécessaire à l'évaluation objective et systématique des risques et des impacts. Cette dualité peut être vue comme un paradoxe par les acteurs de l'innovation, mais aussi par les citoyens et le législateur.

Il s'agit également de s'intéresser à la trajectoire des acteurs porteurs de l'innovation, et notamment la question des voies empruntées par l'impératif de responsabilisation des ces acteurs. Cette question de la responsabilité des acteurs ne peut s'analyser sans avoir une bonne compréhension du contexte de « judiciarisation » croissante des questions climatiques et environnementales alimenté par la société civile. Une des dimensions de l'analyse porte également sur l'intégration, dans le cadre d'une réflexion globale sur les risques, du phénomène de « déplacements des risques et des impacts » produits par les nouvelles technologies, qui ne sont, dans les faits, jamais propres *stricto sensu* : les acteurs concernés, les intérêts et les questionnements ne sont pas nécessairement les mêmes que ceux que le développement et la mise en œuvre de la technologie mobilisent directement.

3.3.3 Gérer le présent et l'héritage du passé

La focale portée résolument vers le futur, sur le caractère nouveau des technologies, de leurs conditions de développement et des doctrines qui les sous-tendent, ne doit pas faire abstraction du présent et du passé. Cette question des risques présents et passés est d'autant plus importante à suivre dans une tendance de fond qui marque une phase de « contraction » du rôle de l'Etat, qui se traduit par une réduction des moyens publics et un désengagement sur un certain nombre de questions. Il convient de suivre les trajectoires des risques existants et connus qui persistent, et leurs interactions avec les

risques technologiques nouveaux qui peuvent apparaître dans le contexte d'urgence environnementale. Un autre aspect de cette prégnance du présent porte sur les risques connus, mais qui changent de caractéristiques du fait d'un contexte lui-même évolutif. En fonction des solutions choisies et des trajectoires empruntées pour répondre aux enjeux climatiques et écologiques, il est même possible de devoir, dans les politiques de gestion, se re-saisir de questions de risques jusque-là maîtrisés (et dont la mémoire et la connaissance peuvent être partiellement ou totalement perdues). Savoir appréhender ces transformations, parfois difficilement perceptibles, permet d'anticiper leur impact, non négligeable, sur la maîtrise des risques.

En contrepoint du regard vers le futur, l'héritage du passé continue de peser dans les arbitrages de l'action publique. Les pollutions « historiques » et l'empreinte industrielle passée demeurent un enjeu de gestion des risques que l'accompagnement de technologies « vertueuses » ne doit pas faire oublier. Il apparaît important de surveiller les conditions, possiblement convergentes ou concurrentielles, dans lesquelles les deux mouvements peuvent se déployer. Cette question de l'héritage passé peut également constituer un déterminant qui pèse sur les stratégies et moyens mis en œuvre pour apporter des solutions à l'urgence écologique : par exemple, le renouvellement des approches de l'usage des sols et des services agro-systémiques comme atout face au changement climatique est confronté à la contamination généralisée des milieux (Schiavo et al., 2023). Plus généralement, il semble intéressant d'explorer les mutations des représentations collectives liées à la prise de conscience de cet héritage, qui peuvent orienter plus ou moins fortement la posture des acteurs vis-à-vis d'une solution technologique : il s'agit aujourd'hui de vivre dans un environnement dégradé et de s'accommoder de ces conditions (culpabilité, éco-anxiété, notion d'inégalité se conjuguant à celle de vulnérabilité...).

3.4 Révolution numérique

3.4.1 Une nouvelle ère des relations « humain-machine » ?

La conception occidentale de la « modernité » est indissociable de son rapport à la science et à la technologie. Considéré comme moteur des transformations sociales, le rôle de la technologie a pris une nouvelle dimension au XX^{ème} siècle avec l'avènement de l'informatique. La relation homme-machine, jusque-là limitée à un rapport matériel et organique, investit le champ de la pensée et de l'esprit, par le biais du traitement de l'information, puis de l'apprentissage automatisé. Le numérique est présent partout, jusque dans la vie privée, et de façon de plus en plus autonome et interactive, mimant le comportement humain. La veille vise naturellement à repérer les concepts nouveaux et suivre l'évolution des technologies pour anticiper les impacts positifs comme négatifs qui leur sont propres et qui peuvent se répercuter dans l'étude des risques (Renaud, 2018) : intelligence artificielle (IA), *big / fast data*, *cloud computing*, internet des objets (IoT), *machine learning* (apprentissage automatique), système cyber-physique et techno-symbiose, robotique...

Il convient également de suivre les trajectoires du contexte politique et social dans lequel se déploiera la transition numérique (ADI, 2022) : déploiement massif et non encadré (qu'il aboutisse à accroître la dépendance ou la liberté humaine) ; contrôle et cadrage (qu'il exprime une volonté de limitation ou la recherche d'efficacité) ; possibilité d'une rupture majeure dans le rapport humain-machine (concept de « singularité technologique », avènement de logiques de raisonnement nouvelles...). Cette dimension recouvre également l'analyse de l'influence systémique des algorithmes dans la vie économique et sociale et le suivi des trajectoires de délégation de gouvernance et de gestion qui peuvent se dessiner : déclinaison des *techs* dans tous les compartiments de la société (*foodtech*, *medtech*, *greentech*...), généralisation de l'application du principe d'appariement (*matching*)... Les politiques publiques n'échappent pas à la règle avec l'émergence des *govtechs* dans le domaine de l'administration publique (concept de la « gouvernementalité algorithmique ») et des *legaltechs* dans le domaine du droit (Rouet, 2019). Les enjeux de « fracture numérique » et leurs conséquences font tout autant partie de ce paysage.

La veille doit permettre d'analyser les limites des technologies numériques, qui sont perçues de façon ambivalente : méfiance ou angoisse vis-à-vis de la disparition des frontières entre humains et machines (*deep fake*, humanisation des machines...), et en même temps attraction ou fascination pour le numérique (Braunschweig, 2023 ; CPEN 2023). Une première dimension des limites interroge la notion de biais algorithmiques et la façon dont ils sont résolus : biais de confirmation (socio-culturels), biais statistiques, biais économiques... les notions d'explicabilité, d'interprétabilité et de transparence sont au cœur de cette question. La cession inconsciente, par les citoyens, de leurs données personnelles pour alimenter le numérique nécessite également de suivre les débats sur les enjeux éthiques (CNIL, 2023) liés à la collecte, l'exploitation, la captation, la manipulation de ces données (jeux d'influence,

propagande avec le concept du *nudge*, –manipulation par les biais cognitifs–, surveillance...). Plus globalement, le numérique est un champ d'application privilégié des conflits de valeurs et d'approches philosophiques que la mutation du rapport à l'innovation engendre (cf. infra). Les courants technosceptiques qui invitent à prendre du recul sur les technologies se structurent très largement face au développement numérique, notamment en réaction à des approches radicales de la transition numérique comme le « techno-solutionnisme », certains courants de l'hactivisme ou le transhumanisme.

3.4.2 Le « cyber » dans l'étude des risques technologiques

L'Institut réfléchit déjà depuis plusieurs années à la transformation numérique des installations industrielles (industrie 4.0, usine du futur...) et à ses conséquences sur la maîtrise des risques accidentels, en particulier les changements induits dans l'approche de mesures de maîtrise des risques (MMR). La sécurité informatique (vulnérabilité des systèmes informatiques, défaillances techniques, piratage...) a fait son entrée dans les principes de la sécurité industrielle. La veille de ces évolutions doit être poursuivie et se généraliser à tous les travaux de l'Ineris, pour identifier les dangers, risques et impacts liés à l'usage des technologies numériques en lien avec des activités porteuses de risques technologiques. Le « numérique responsable », qui pose la compatibilité du développement numérique avec les enjeux écologiques (consommation énergétique, exploitation de ressources naturelles fossiles, pression sur la ressource en eau, économie circulaire...) est notamment un sujet d'intérêt dans cette perspective.

La veille aborde également, à l'inverse, le rôle du numérique au service de la transition écologique (Longaretti et al., 2021) : les technologies numériques véhiculent en elles l'idée et la possibilité de mieux comprendre ou maîtriser la complexité des phénomènes environnementaux planétaires et de disposer de moyens pour en ralentir ou limiter les effets. En témoignent l'usage du numérique dans l'« urbanisme résilient », dans la compréhension et la limitation des pollutions, dans la prévention de pathologies humaines, dans l'optimisation de l'utilisation des ressources, dans le contrôle des flux énergétiques, dans le développement de l'économie circulaire... Ces possibilités doivent toutefois être replacées dans une perspective socio-économique, n'omettant ni la logique d'« addition » (plutôt que de substitution) qui guide les évolutions technologiques successives, ni les possibles effets rebonds et induits de leur déploiement.

Les mutations profondes initiées par le numérique portent à la fois sur les objets d'étude entrant dans le périmètre d'activités de l'Ineris, mais aussi sur les disciplines scientifiques pratiquées à l'Institut et plus largement sur les métiers de l'expertise des risques (PROSPER, 2019). Ce champ de veille s'intéresse aux évolutions que le numérique engendre sur les moyens de modélisation, sur les méthodes expérimentales, sur la production de données de mesure et d'observation... Par exemple, le numérique peut faciliter le traitement des publications scientifiques et les études bibliographiques (*text & data mining*), stimuler la mise en œuvre de nouvelles méthodes de travail (calcul quantique...), améliorer l'exploitation des données environnementales et sanitaires, accélérer l'évolution des méthodologies d'évaluation des risques.

3.4.3 L'impact du numérique sur les organisations

Pour une approche complète, la veille doit disposer d'un champ traitant de l'impact du numérique sur l'organisation du travail et les pratiques professionnelles. La dématérialisation des pratiques, le recours à l'IA, la robotisation... sont autant d'aspects de la « cobotique » (collaboration humains-machines). Le fantasme du « grand remplacement » est aujourd'hui remis en cause par de nombreux travaux faisant plutôt le constat d'une transformation, qu'il convient de cerner, du marché du travail, du travail lui-même, de la géographie des emplois, des relations au travail et des compétences des travailleurs. Le numérique est synonyme de gain de productivité et de temps, recentrage sur des activités à valeur ajoutée, redistribution des compétences, réduction de la pénibilité (INRS, 2022)... Mais il est aussi associé à des questions de recomposition et déplacement des inégalités (renforcement de « l'insécurité sociale »), de mise sous pression des individus, de mutation radicale de certains métiers (création, médias...), et peut amener à la redéfinition de la définition du risque dans des organisations où le facteur humain pouvait jouer un rôle essentiel, typiquement, la production manufacturière et industrielle.

La transition numérique dans les organisations est également à mettre en lien avec le sujet de la production et de la disponibilité de données toujours plus nombreuses. La place des données (scientifiques, territoriales, administratives, etc.) dans l'action publique est notamment un terrain d'application utile à veiller en lien avec l'étude des risques technologiques. Il convient par ailleurs de

suivre comment le développement du numérique transforme les pratiques de gestion sur tout le cycle de vie des données, en particulier des données scientifiques, environnementales ou sanitaires : production, collecte, utilisation, stockage, diffusion, réutilisation, archivage... Il semble opportun de s'intéresser aux modes de traitement de la confidentialité et de la sécurité des données, qui constituent des dimensions incontournables de l'ère des données de masse, tout comme il apparaît essentiel de suivre le processus inverse d'ouverture des données (*open data*) et les façons dont ce second mouvement va se déployer par rapport au premier. Le principe d'apprentissage automatique sur lequel s'appuient les technologies numériques pose un autre enjeu, celui de la qualification de la donnée et des conditions de sa réutilisation.

3.5 Réindustrialisation

3.5.1 Une nouvelle révolution industrielle ?

L'Institut a choisi de porter une attention particulière à la trajectoire dans laquelle les politiques européennes et françaises se sont récemment engagées ces toutes dernières années : la direction prise est porteuse de l'idée du nécessaire renouveau de la politique industrielle comme atout principal pour relever les défis planétaires. Dans la continuité de la vision traditionnelle de la technologie comme condition du développement économique, la priorité est donnée à la « reconquête industrielle », i.e. la transformation des activités économiques par l'innovation, avec comme horizons les transitions énergétiques, écologiques et numériques. Témoignent ainsi de cette nouvelle stratégie de croissance le plan d'investissement « France 2030 » et la stratégie nationale énergie climat (SNEC) de France Nation Verte, ou encore le *Green Deal* (Pacte Vert) de l'Union européenne et son *Net Zero Industry Act* (Industrie zéro émission nette). Il est notamment intéressant de suivre les évolutions de cette doctrine et ses déclinaisons à une échelle globale, en comparant l'approche française à celles d'autres pays, en Europe et ailleurs.

La crise climatique et écologique a initié une réflexion sur la nécessité de penser une nouvelle ère « post-fossile » et ses conséquences, la disponibilité de l'énergie étant considérée comme la condition *sine qua non* de la croissance. Le contexte géopolitique et sanitaire instable de ces dernières années (pandémie Covid-19, guerre en Ukraine...) a par ailleurs reposé de façon brutale la question de la fragilité industrielle en situation de crise, de la dépendance énergétique et de l'accès à des ressources stratégiques. Le « monde incertain » dans lequel l'humanité semble être entrée rend moins lisible les trajectoires des tendances de fond, d'où l'intérêt de se pencher sur les conditions dans lesquelles se déploie ce mouvement de réindustrialisation, les formes concrètes qu'il prend, et d'y analyser la place des risques technologiques et de leur prévention. La reconquête industrielle des politiques se distingue des relances antérieures en ce qu'elle est confrontée au débat sur les réalités « post-industrielles » et sur les effets d'un phénomène de « désindustrialisation » des pays occidentaux. Elle s'insère également dans une perspective beaucoup plus large qu'auparavant, celle des transitions, qui nécessite d'articuler étroitement tous les secteurs de l'économie, dans le cadre d'une approche systémique des enjeux. Enfin, elle doit se déployer dans un contexte d'incertitudes sociétales fortes (Sovacool et al. 2023) : incertitude sur l'adhésion à ce choix de société, incertitude sur le degré d'engagement du citoyen dans la démarche...

3.5.2 Le développement de l'industrie « bas carbone »

Un axe premier de la reconquête industrielle est de rendre les activités économiques compatibles avec la neutralité carbone et la préservation des ressources : il s'agit à la fois de « décarboner » l'industrie et de favoriser les filières porteuses de solutions technologiques aux défis planétaires (Geels, 2020). A ce titre, il est intéressant de mieux appréhender les réalités que recouvre la notion de « décarbonation » industrielle, ses atouts et ses limites. Une dimension importante à suivre est par exemple la place que peut occuper la captation du dioxyde de carbone (émission ou atmosphérique) responsable des émissions de gaz à effet de serre (GES). Le captage-transport-stockage du CO₂ (*Carbon Capture Storage* - CSS), au destin malheureux en début de siècle, connaît peut-être un nouveau départ avec les perspectives offertes par son utilisation directe dans des procédés industriels (*Carbon Capture Utilisation Storage* – CCUS). Efficacité énergétique, CCUS, électrification... sont autant de pistes dont il convient de suivre les développements pour en analyser les risques et les impacts. Ces approches doivent évidemment être conçues dans une logique de circularité à l'échelle de l'installation.

Dans un autre registre, la veille cherche à éclairer les trajectoires de la transition énergétique. Les évolutions du *mix* énergétique orientent les priorités de la gestion des risques : le statut d'énergie décarbonée a ainsi relancé la filière nucléaire, avec les enjeux de risque industriel que peut par exemple

constituer un réseau de petits réacteurs modulaires ou la proximité de ces mêmes petits réacteurs avec des installations industrielles dans une logique d'écologie industrielle. Le développement du stockage électrochimique, de l'hydrogène énergie et des énergies renouvelables nécessite de continuer à explorer leurs risques et impacts (France Stratégie/CGEDD, 2022). Un enjeu fort du système énergétique de demain, qui peut entraîner des conséquences sur l'étude des risques, réside dans une articulation des échelles plus complexes d'aujourd'hui au sein du système énergétique, avec la coexistence de structures très centralisées avec des sous-systèmes décentralisés. La question des ressources nécessaires au développement des filières énergétiques conduit à aborder la question de l'utilisation à venir du sous-sol (Arnauld de Sartre et al., 2019) et le futur de la relance de l'activité minière, ses leviers et ses verrous (Cerceau et al., 2023). Cette question interroge très directement le sujet de la perte de « mémoire » et de « savoir-faire » technique. Elle est aussi un exemple du « dilemme » que peut poser l'exploitation des ressources en réponse aux défis climatiques, par rapport à la nécessité de préserver les écosystèmes.

3.5.3 Les défis structurels de la reconquête industrielle

Un des enjeux forts liés à la dynamique lancée par les politiques publiques, tout particulièrement en France, est l'état vieillissant de l'appareil industriel existant. Le nouveau industriel n'étant pas conçu dans la logique de *tabula rasa*, il doit tenir compte de l'état initial des équipements et des contraintes associées. La modernisation des installations industrielles est une question qui n'est pas complètement nouvelle : elle est entrée dans les politiques publiques comme une priorité d'action dans la première décennie des années 2000. Il convient de creuser davantage cette question, sur laquelle l'Institut a déjà engagé des réflexions, afin d'anticiper ses effets sur l'évaluation et la maîtrise des risques technologiques dans le contexte des transitions. A cet égard, dans une logique respectueuse de la planète, la question du vieillissement fait écho à celle de durabilité : il paraît opportun de voir comment se croisent les dynamiques dans lesquelles sont prises ces deux objets des politiques publiques. Par ailleurs, les nouvelles filières technologiques sont désormais tenues d'intégrer l'enjeu de leur durabilité le plus en amont possible de leur développement : la veille peut permettre d'observer comment les pratiques se construisent concrètement.

Un autre enjeu structurel émerge de cette nouvelle conception de la « durabilité » industrielle, autour des trajectoires du « facteur humain » et en particulier de la maintenance. La maintenance industrielle a toujours été une activité essentielle, mais elle est en même temps traditionnellement « invisible ». Les travaux en sciences sociales (Denis et al., 2022) et de gestion ont mis en lumière les processus ayant conduit à « invisibiliser » les activités de maintenance, dans un contexte de conception de la technique qui valorise, depuis les premières révolutions industrielles, la capacité d'invention et la créativité. L'enjeu de la transition bas carbone, qui intègre la circularité, et par extension le réemploi et la réparation dans les modèles industriels, place la maintenance au centre du fonctionnement des activités, et tend même à lui donner une réelle portée politique. C'est une évolution majeure dont la maîtrise des risques doit tenir compte. A cet égard, il semble utile de documenter les réflexions sur la place et les enjeux de la maintenance dans l'économie, les formes qu'elle prend, la trajectoire de ses acteurs, les logiques et les rythmes qui lui sont propres, ainsi que leurs décalages avec ceux de l'innovation ou de la production (Zwingelstein, 2019).

4 Jeux d'acteurs

La veille prospective que l'Institut entend développer s'intéresse aux profils des acteurs concernés par les risques technologiques, dont il fait lui-même partie. Il s'agit de suivre leurs trajectoires dans la compréhension des enjeux de risques et dans la production de connaissance sur les risques. La veille doit également aider à appréhender les transformations des interactions entre ces acteurs, ainsi que les formes d'actions qu'ils déploient sur la question de la maîtrise des risques. Scientifiques, pouvoirs publics, acteurs économiques, représentants de la société civile, citoyens... sont autant de catégories d'acteurs plurielles, évolutives qui exercent une influence sur la façon dont l'Ineris est amené à assurer ses missions. Une place particulière est accordée aux jeux d'acteurs se déployant à l'échelle d'un territoire, avec les dynamiques qui leur sont propres, ainsi qu'aux représentations socio-culturelles du risque technologique, qui s'incarnent dans les notions de « culture du risque » et « culture sécurité ».

4.1 Dimension territoriale

4.1.1 L'échelle du territoire : si loin, si proche

La notion polysémique de « territoire » va aujourd'hui bien au-delà de la simple définition du terme comme un espace délimité que s'approprient des êtres humains (et plus généralement des êtres vivants). De nombreux travaux ont mis en valeur combien le territoire n'existe que dans la mesure où il est nommé, défini, construit et vécu. Cette notion mobilise une dimension biologique/naturelle, politique et culturelle que sont venues transformer la logique de réseaux et la révolution numérique. Autrement dit, le territoire défini classiquement comme unité géographique est débordé par les objets et dynamiques qu'il contient, par l'effet d'une déconnexion croissante entre l'espace où vit un groupe social et les espaces dont ce groupe dépend pour vivre. Initialement porté par un imaginaire fondé sur la valorisation de la vitesse et de la mobilité, sur la vision d'un monde ouvert et familial, et sur l'esprit de conquête, le territoire est aujourd'hui traversé par des courants contraires dont il faut tenir compte : réflexe de repli et réapparition des frontières, questionnement sur l'habitabilité des espaces, recentrage sur le local...

Malgré l'affaiblissement du modèle traditionnel de l'Etat-nation, accéléré par la mondialisation, la dimension politique du territoire demeure. Elle s'incarne dans d'autres formes d'organisations spatiales, dans un double mouvement de « régionalisation », qu'il convient d'appréhender : vers les échelons inférieurs de l'Etat central (découpage administratif français, grandes agglomérations et leur bassin de vie...) et vers les échelons supérieurs des régions du monde (au sens anglo-saxon de « region »), qui donne à voir l'échelle transfrontalière sous un prisme nouveau, sans passer nécessairement par le truchement de l'échelon national. La nouvelle dynamique territoriale se déploie ainsi dans un contexte de multiplication et de complexification des règles de gestion : viennent s'ajouter au cadre national, les normes et la réglementation des échelles infra (décentralisation en France) et supra (cadre européen, alliances régionales...), dont il convient d'observer l'évolution des rapports et les interdépendances.

La mondialisation favorise aussi une homogénéité et une uniformité des biens et des services, soutient la convergence des modèles urbains, que renforce le traitement algorithmique propre au numérique. Ces logiques sont de plus en plus questionnées par un mouvement inverse de singularisation, l'aspiration à des services individualisés, le désir de reconnaissance des spécificités locales, la diversité des visions du futur urbain, un retour à la proximité... Les effets de l'approche de proximité (densification urbaine, circuits courts, usage du sol...) sur la maîtrise des risques au sein des territoires constituent par exemple un sujet d'intérêt. Les nouveaux modèles d'espaces communs sont également une dimension à considérer : tiers-lieux, villes en transition, centrales villageoises, espaces marginaux (zones à défendre...). Il est par ailleurs indispensable de jauger l'impact du numérique, qui introduit une logique d'accessibilité qui coexiste avec la logique de proximité. Le numérique contribue à alimenter un phénomène de « désintermédiation » en court-circuitant les relations entre les habitants d'un territoire et les acteurs territoriaux (associations, collectivités, entreprises...). La régulation publique territoriale en particulier subit la concurrence des plateformes numériques, qu'elle n'est pas bien armée pour s'approprier. Le numérique pourrait bouleverser la notion même de territoire avec le développement des métavers et autres mondes virtuels.

4.1.2 La « territorialisation » des risques

Cet élan insuffle une nouvelle dynamique à l'échelon « régional », en France et en Europe. La veille prospective doit ainsi disposer d'une dimension de « veille territoriale », dans la mesure où le processus de transition, qu'il soit numérique, énergétique ou écologique, nécessite d'être pensé et mis en œuvre à l'échelle d'un ou plusieurs territoires, dans une logique de raccourcissement des chaînes de valeur pour répondre à l'enjeu climatique. La maîtrise des risques associés à ces transitions s'exerce par conséquent dans ce cadre territorial redynamisé. Il semble judicieux de documenter plusieurs aspects des évolutions que le développement local aura sur la maîtrise des risques technologiques, jusqu'ici pensée de façon centralisée dans des politiques nationales et supranationales. Ces évolutions peuvent se manifester dans une plus grande prise en compte de spécificités du territoire, par rapport à des standards réglementaires et normatifs d'évaluation et de maîtrise des risques. La gestion de problématiques environnementales inter-territoriales est aussi un enjeu dont il semble pertinent de suivre les trajectoires dans un tel contexte de développement des territoires (i.e. les transferts de pollution entre territoires, les risques liés aux canalisations de transport et aux réseaux, la qualité de l'air...).

Le changement d'échelle impose de suivre le rôle de la science dans la gestion des territoires ainsi que les mutations possibles de l'expertise scientifique et de la recherche dans un cadre territorial. Cet axe de veille interroge l'adaptation du métier d'expert ou de chercheur, dans la gestion des risques sur le territoire. Par rapport au modèle actuel d'hyperspécialisation, la question du degré de polyvalence du scientifique peut se poser, avec des risques locaux plus disséminés. En contrepoint des approches méthodologiques qui se veulent de plus en plus intégratives et globalisantes, le développement de démarches spécifiques au territoire est également à investiguer. La veille traite également de l'usage qui est fait de la connaissance scientifique dans la maîtrise des risques sur le territoire : les processus permettant de rendre effective l'utilisation des résultats scientifiques comme aide à la décision ; les leviers et les verrous qui jouent sur l'appropriation des connaissances par l'ensemble des acteurs, etc. Dans une logique de territorialisation des questions de risque, se pose la question de la préservation et du partage de la vision d'ensemble sur un sujet technique ou scientifique.

4.1.3 Trajectoires des acteurs territoriaux

Les mutations du rapport collectif au territoire et l'évolution de la gouvernance des territoires, en particulier la mise en œuvre des transitions, interroge l'identité et le rôle des acteurs territoriaux. Le futur des territoires doit composer avec des incertitudes fortes sur la nature des acteurs parties prenantes du pilotage territorial, sur leur capacité à gérer les territoires et la répartition des rôles entre eux. Les acteurs territoriaux se diversifient à la mesure de la complexification de la gestion territoriale, avec un rôle croissant des acteurs privés venant concurrencer le gestionnaire public : ce mouvement est illustré par exemple par la privatisation des espaces publics urbains, qui a un impact sur l'appropriation d'un territoire par les habitants, devenant de simples usagers dans un tissu urbain plus fragmenté. L'impact des jeux d'acteurs sur les nouveaux enjeux de l'aménagement du territoire est important à suivre dans l'optique d'en étudier les risques associés. De même l'évolution du rapport des citoyens à la mobilité, à l'habitat, les trajectoires d'extension de leurs territoires de vie ou de recentrage sur l'échelle local sont autant de facteurs dont il faut tenir compte pour comprendre et anticiper les changements que peuvent connaître les politiques territoriales.

Dans le champ des risques, les mutations peuvent faire émerger de « nouveaux » acteurs, par exemple les acteurs académiques régionaux, ou encore changer le rôle d'acteurs existants, jusque-là moins impliqués dans la maîtrise des risques, comme les élus et les collectivités. Il s'agit alors de suivre leur « prise en main » des questions de risque, les enjeux qui leur sont propres, les difficultés qu'ils rencontrent pour tenir leur rôle... La veille s'intéresse également aux modifications que la gestion territoriale peut entraîner sur les interactions entre les acteurs du risque. L'approche territorialisée nécessite par exemple de suivre les effets de l'interdépendance croissante des installations à risque les unes avec les autres. Les tensions qui peuvent traverser le milieu associatif, entre une approche locale d'une question technique et une approche systémique sont aussi un sujet d'intérêt, comme en témoigne le déploiement des énergies renouvelables (éolien, solaire, méthanisation...).

4.2 Visage(s) du savoir scientifique

4.2.1 La perte de confiance dans la science ?

Des travaux récents et plusieurs enquêtes d'opinion successives ces dernières années ont souligné une tendance à la hausse d'une forme de défiance, voire de méfiance de la société civile vis-à-vis de la science et des scientifiques (Saltelli et al., 2017 ; EC-DGRI, 2017). Cerner les réalités derrière ces études n'est pas aisé : les réponses sont loin d'être binaires, selon qu'il s'agisse de l'objet étudié (la science elle-même ou les scientifiques), des acteurs visés (chercheurs, experts, institutions, décideurs...) de la dimension du rapport science-société questionnée (confiance, intérêt, culture, finalité...). Le rapport qu'entretient la société à la science est une question complexe et surtout empreinte de fortes ambivalences. Si de nombreuses études attestent de la crise de confiance entre la société et les pouvoirs politiques et institutions, les citoyens semblent continuer à entretenir un lien fort avec la science et le monde scientifique. Mais ils le font dans des rapports nuancés qui n'excluent pas une mise à distance avec l'objet scientifique, une méconnaissance de ce que produit la science, une certaine remise en cause de l'autorité scientifique, etc. Il apparaît que la question de la confiance entre science et société nécessite d'être analysée plus finement (Futuribles, 2023).

La question de la défiance soulève un autre enjeu : la place de la démarche et de la connaissance scientifique dans la société. Il est relevé dans les enquêtes un intérêt soutenu pour les sujets scientifiques, voire une volonté d'inclusion dans le processus exprimée par une partie de la population, qui sous-tend le concept de sciences et recherches participatives (SRP). Dans le même temps, il est

mesuré une perte de familiarité avec certaines notions élémentaires en sciences, une distance avec les principes régissant la démarche scientifique (notamment le critère de falsifiabilité qui fonde l'approche), ou une méconnaissance des avancées dans certains domaines. On constate également la persistance, voire la progression de formes alternatives de lecture du monde (pseudo-sciences, nouveaux mouvements religieux, théorie du complot...) Les tendances derrière ce « décrochage » méritent d'être suivies : le mode de production de la vérité porté par la science est confronté à l'apparition d'un régime de « post-vérité », où le relativisme généralisé range le fait scientifique (et son interprétation) au rang d'opinion.

Dans un tel contexte, la crédibilité devient un concept clef pour la communauté scientifique, dont il convient d'analyser les fondements, les trajectoires d'évolution, les leviers et les verrous qui lui sont associés (RAC, 2023). Face à des attentes clairement exprimées vis-à-vis de la science, les scientifiques ne suscitent pas toujours l'adhésion car leur capacité « à dire le vrai » est concurrencée par d'autres discours faisant autorité (médias, entourage proche, expérience personnelle...). Il s'agit de suivre si la place et le rôle du scientifique change dans le débat public et le cas échéant, de quelle façon. Interroger la crédibilité scientifique implique également d'explorer le sens ou l'absence de sens attribués aux travaux et la façon dont la communauté cherche à résoudre cette question : formalisation des objectifs suivis, projection dans l'application des résultats...

4.2.2 Le contexte « brouillé » de la communication scientifique

La diffusion des connaissances scientifiques est confrontée de plein fouet à l'accélération des mutations du paysage médiatique tel qu'il était connu depuis la fin du XIX^{ème} siècle. La généralisation de l'usage d'Internet depuis les années 1990 a porté atteinte au modèle des médias traditionnels (presse/radio/TV), que le développement des réseaux sociaux à partir des années 2000 a considérablement remis en question. Le secteur s'est amplement reconfiguré, l'activité largement transformée et les acteurs se sont fortement diversifiés. La réalité des « médias » comme modèle organisationnel et économique, auquel étaient associés un cadre réglementaire, un référentiel de métiers (en premier lieu celui de journaliste), une éthique et des pratiques communément admises n'est plus univoque. En outre, la science connaît un large écho dans les médias, alors que la spécificité du traitement de cette question n'est plus reconnue : disparition des rubriques dédiées dans les médias généralistes, raréfaction des profils de journalistes scientifiques.... L'observation de l'évolution de ce contexte doit permettre d'anticiper la façon d'y inscrire la communication scientifique.

Le poids aujourd'hui très important d'Internet et des réseaux sociaux dans les médias soulève plusieurs questions dont il est important de se saisir. Le numérique accélère la tendance amorcée au XX^{ème} siècle de dérégulation de la production de connaissances et de l'accès à l'information. Le caractère massif, extrêmement rapide, décentralisé et ubiquitaire de la diffusion de l'information bouleverse la communication scientifique. Sa temporalité est désormais en décalage avec la circulation de l'information, qui exerce une pression sur la temporalité de la décision politique : un sujet arrive désormais fréquemment dans le débat public, via les médias, avant même que la science en ait tiré des connaissances validées. La valorisation des résultats scientifiques est également confrontée aux modes « conversationnels » de communication propres aux réseaux sociaux (formats courts, réciprocity quasi-instantanée du discours, prédominance de l'image...). L'influence des algorithmes et la remise en cause de leurs limites est également à prendre en considération dans les stratégies de communication. La situation de surabondance déplace les enjeux de communication : il ne s'agit plus seulement de rendre accessible et intelligible l'information, mais de donner les clefs pour la hiérarchiser et se l'approprier. La science du risque est également aux prises avec une difficulté supplémentaire, celle de la diffusion de la connaissance dans un contexte de gestion de crise (HAS, 2022).

Il convient également d'analyser les biais du traitement de l'information scientifique dans un contexte médiatique concurrentiel où elle devient une « opinion » comme une autre. Il apparaît important de suivre l'évolution du traitement des débats et controverses scientifiques (Giry, 2022). Cela permet de décrypter les différents mécanismes d'altération et de manipulation de l'information scientifique (Basdevant et al., 2021) : désinformation, fausses nouvelles (*fake news*), rumeurs, propagande, « trucage » des contenus (*deep fake*)... Se documenter sur les acteurs de la désinformation est une autre dimension de la veille (Chavalarias et al., 2023). Il s'agit également d'observer les modes de réponse qui sont installés pour contrer ces phénomènes : travail sur la transparence des sources, vérification des informations (*fact checking*) et actions de « démystification » (*debunking*), diffusion de bonnes pratiques de communication (Allea, 2021)...

4.2.3 L'évolution de la posture scientifique

Les mutations du rapport à la connaissance et à sa diffusion peuvent exercer une influence sur la posture scientifique, qui se définit par référence à un certain nombre de normes elles-mêmes objets de profonds changements (si on se réfère par exemple à l'*ethos* mis en évidence par le sociologue R. Merton). En réponse à ces transformations, le concept de transparence vient irriguer l'activité scientifique, avec l'idée du partage de la connaissance voire de la co-construction de la connaissance : dans le champ de l'Ineris, cette idée est portée à la fois dans l'approche de « démocratie environnementale » des politiques publiques, dans le dispositif de transformation de la vie publique et dans le concept de science ouverte. A ces enjeux sont associées les mutations du concept de « vulgarisation scientifique », et plus généralement l'attention renouvelée portée à la médiation scientifique, que la communauté considère de plus en plus comme un impératif, avec les nouvelles pratiques qui en découlent.

Le contexte dans lequel est prise la communauté scientifique interroge également le lien pluriséculaire entre science et décision, la vérité scientifique étant le mode de légitimation privilégié des formes modernes de démocratie politique (Boudia et al., 2021). Pour répondre à cette nécessité, la science s'est organisée en communautés de recherche, d'expertise dont les pratiques se sont diversifiées et différenciées au fil du temps. La désinstitutionnalisation progressive des savoirs, couplée à une défiance croissante dans les institutions et le politique participent de la reconfiguration de la place de la science dans l'espace public, dont la temporalité est de plus en plus en décalage avec le temps de la décision politique. L'Etat perdant progressivement son rôle de garant de la vérité, de médiateur des connaissances (via l'éducation de masse), le rapport change entre science et pouvoir, jusque-là clairement distingués pour assurer le fonctionnement du régime démocratique. Il convient de suivre les interactions entre la recherche et les différentes formes d'expertise (Claveau et al., 2018 ; Demortain, 2021), entre les recherches dites « scientifiques » et les recherches qualifiées d'« industrielles », avec les réalités que recouvrent le terme « partenarial », ainsi que leur rapport à la décision.

Qu'ils visent les agissements des acteurs publics ou privés, les citoyens expriment assez nettement leur crainte de voir la science instrumentalisée. La persistance de pratiques de déstabilisation s'appuyant sur la science (propagande, manipulation de l'opinion publique...) pose la question de l'éthique et de la « méconduite » scientifique (conflits d'intérêt, fraude, plagiat...) ; il est à ce titre intéressant de suivre les mécanismes conduisant les acteurs à porter atteinte à leur propre crédibilité : déficit de « revue par les pairs » (*peer reviewing*), pression des éditeurs scientifiques... L'accélérateur qu'a constitué la crise Covid-19 conduit à remettre au cœur de la posture scientifique le respect de certaines exigences (Dubois et al., 2022). Il semble important de suivre les trajectoires des pratiques déontologiques et d'intégrité, en lien avec la prise de parole scientifique et la diffusion des connaissances produites (Henriet et al., 2021). La question de la place et du rôle des lanceurs d'alerte, avec les récentes évolutions réglementaires sur l'alerte sanitaire et environnementale, fait également partie des enjeux à considérer dans la durée. Il est enfin utile de suivre la vision (auto)critique, qu'elle soit réformiste ou plus radicale des sciences (Alliss, Science citoyenne, Pièces et Main d'œuvre...), ainsi que les formes d'engagement qui ont émergé chez les scientifiques, particulièrement dans le domaine du climat et de l'environnement (Scientifiques en rébellion, Ingénieurs sans frontières...), avec les questions de liberté académique, liberté d'expression et de devoir de réserve qui se posent (Fiorini, 2019 ; Fragnière et al., 2022).

4.3 Engagements citoyens

4.3.1 La construction d'une approche « éco-socio-technique » des risques

La volonté affirmée de la société civile, la pérennisation du caractère participatif de politiques publiques environnementales et l'accélération du mouvement de science ouverte dans la recherche académique contribuent à modifier les travaux scientifiques, notamment en s'appuyant sur des pratiques de dialogue science-société, dont il convient de suivre les trajectoires. Il s'agit par exemple de cerner les évolutions dans la définition des « parties prenantes », « publics concernés » ou « parties intéressées » avec lesquelles la science interagit, avec tous les enjeux portés par l'évolution de la définition « en creux » du concept de société civile (ni autorités régulatrices, ni forces économiques), à l'échelle nationale comme internationale. La prise en compte d'une dimension sociétale dans la science des risques nécessite d'approfondir et confronter les questions, attentes préoccupations de part et d'autre et les points d'appui et difficultés dans la compréhension réciproque des besoins. Il apparaît ainsi intéressant de suivre les questionnements autour de la notion « d'acceptabilité sociétale » au cœur des politiques de gestion de risque et les débats associés (remise en cause du syndrome NIMBY, etc.).

Une dimension importante du développement d'une approche sociotechnique de la science des risques est l'identification des effets concrets du dialogue science-société. Les effets ne portent pas uniquement sur la lecture de l'objet scientifique au centre des interactions et la connaissance qui en est issue. Ils portent également sur les modifications qui s'opèrent sur les représentations, les pratiques et les méthodes de travail de part et d'autre, chez les scientifiques comme les parties prenantes concernées. A cet enjeu d'impact est naturellement associée la question de leur mesure, avec les difficultés que ce type d'évaluation peut poser, et les apports méthodologiques qui peuvent servir de points d'appui. Les pratiques d'évaluation du dialogue science-société, objet par nature difficile à standardiser, sont à mettre en lien avec des démarches qualitatives plus globales d'amélioration continue au sein des organisations (certification, normalisation, responsabilité sociétale et environnementale...).

Il semble désormais incontournable de considérer les dimensions sociale/sociétale des questions de risque technologique par l'intégration plus poussée des sciences humaines et sociales dans les sciences de l'ingénieur et les sciences expérimentales. Les sciences humaines et sociales ont mis « un pied dans la porte », par le biais du concept de facteur organisationnel et humain (FOH) emprunté au champ de la sécurité au travail ; le champ reste cependant étroit et l'articulation fragile. Les sciences humaines et sociales sont de plus en plus fréquemment convoquées dans les travaux sur les risques industriels, sanitaires et environnementaux, mais en grande majorité comme « médiateur » des interactions sciences-société, en dehors du travail sur le risque lui-même. Il est intéressant d'analyser comment va évoluer l'intégration de l'apport de connaissances des sciences dites « molles » aux méthodes et pratiques des sciences dites « dures ». L'enjeu au cœur de l'approche sociétale est, de fait, de passer de la pluridisciplinarité à une réelle transdisciplinarité (RNMSH, 2023). De nombreux travaux s'accordent par exemple sur l'apport indéniable de la dimension socioéconomique aux travaux de science des risques, mais pointent également l'intérêt de renforcer la composante « socio » par un apport sociologique, géographique et historique.

4.3.2 Le savoir et la contre-expertise citoyenne

Suivre les trajectoires des savoirs citoyens dans le champ scientifique invite à s'intéresser au débat autour du statut et de la reconnaissance des savoirs profanes (par rapport aux savoirs experts), et autour de l'accompagnement de ce qui est parfois appelé « le tiers secteur de la recherche ». Les travaux en sciences et recherches participatives (SRP) cherchent à déterminer comment associer les parties prenantes de la société civile pour produire de la connaissance (Lhoste, 2021 ; Bedessem et al., 2020, Barré et al., 2023). Il est pertinent d'étudier comment se déploie les mécanismes de co-construction, avec les leviers et les verrous qui leur sont propres : à l'échelle de la gouvernance des savoirs (orientations et programmation scientifiques), dans la production de résultats scientifiques (projet de recherche ou traitement d'une question d'expertise), dans la diffusion des connaissances, etc. (Hecker et al., 2018). Cela nécessite de traiter de la nature et du degré de participation des citoyens dans le processus de recherche (recherche/science citoyenne, recherche participative, recherche communautaire, recherche-action...), des modalités d'implication et de co-production (développements méthodologiques et référentiels pour le traitement d'une question scientifique), des verrous et des leviers identifiés (Godrie et al. 2022). Un des aspects de cette question porte sur le rôle des formes de « tiers-lieux » dans la co-production de connaissances (FabLab, Living Labs, Boutique des sciences...) et sur l'intérêt de disposer de fonction d'intermédiation (« tiers-veilleur »).

Les interactions science-société sont aujourd'hui confrontées au défi de l'asymétrie des connaissances ou d'asymétrie informationnelle, dont il est pertinent de comprendre les enjeux et les effets. La question de « l'encapacitation » (*empowerment*) des parties prenantes en matière de science a acquis une dimension inédite, qui ne se résume pas aux enjeux de diffusion des connaissances portés par les formes traditionnelles de médiation scientifique. Le sujet intègre une dimension de pratique (*praxis*) qui peut se manifester sous diverses formes (formations, participation à la gouvernance ou à des projets...), et qui est au cœur de la réflexion sur l'évaluation des effets des sciences et recherches participatives. Il convient également de s'intéresser aux moyens dont dispose la société civile pour se saisir de la question de l'asymétrie, et plus largement à l'évolution des formes d'engagements qu'adoptent les parties prenantes, en particulier le milieu associatif.

Un axe d'investigation autour du savoir profane, en particulier sur les questions environnementales, consiste à se pencher sur la constitution, la consolidation et les chemins futurs d'une (contre) expertise citoyenne (Gramaglia, 2023). La question de l'implication de la société civile s'est progressivement déplacée du bon sens, du savoir d'usage ou d'expérience (expertise du quotidien) à l'expertise citoyenne. Celle-ci peut venir, à l'aune de situations de controverses et de ruptures (accident de Lubrizol à Rouen, pandémie Covid-19...), se constituer contre l'expertise institutionnelle ou privée. Ces

phénomènes bénéficient de points d'appui avec le déploiement de la transition numérique et la progression des pratiques de science ouverte. La santé, notamment la santé environnementale, est un champ particulièrement propice à ces nouveaux modes de contribution à la science et à la décision publique (Lesne, 2021). En témoignent les enjeux soulevés par les initiatives de métrologie citoyenne dans le domaine de la qualité de l'air, ou la création d'instituts éco-citoyens pour investiguer les contaminations environnementales (Garroq et al., 2022 ; Castagneyrol, 2021). Il convient d'analyser comment ces approches peuvent s'intégrer aux dispositifs d'expertise publique et aux processus d'aide à la décision traditionnels.

4.3.3 Les risques au prisme du renouvellement démocratique

Les processus participatifs sont indissociables du fonctionnement démocratique : le traitement de plus en plus participatif des questions de politiques publiques (mutation du rôle du CESE, conventions citoyennes, essor de la démocratie locale...) pose la question de leur portée et des interactions potentielles entre eux. Plus globalement, l'analyse des forces et des faiblesses des processus institutionnels existants, de leur faible/forte articulation apporte une meilleure compréhension des arènes dans lequel l'expertise des risques est amenée à se déployer (Mazeaud, 2021). En particulier, les impasses dans lesquelles sont pris les processus de concertation territoriale réglementaire en matière d'environnement, et les voies empruntées par tous les acteurs concernés pour en sortir, sont riches d'enseignement (Martinais, 2015 ; Kamaté, 2016). Documenter les réussites et les échecs passent également par l'examen des retours d'expérience et analyses réflexives sur des cas concrets. Il apparaît opportun sur cette question de comparer la situation française et ses trajectoires avec celles d'autres pays européens et du monde.

Il est par ailleurs utile de s'intéresser à l'émergence et aux transformations de la fonction d'intermédiation en jeu dans ces processus. Cette fonction n'est pas un métier relevant d'un référentiel de compétences : les missions et les pratiques sont diverses, d'où l'intérêt d'en analyser les contours. Les politiques environnementales et sanitaires s'appuient sur une grande diversité d'acteurs, plus ou moins institutionnalisés appelés à garantir les bonnes conditions du débat public et l'accompagnement des citoyens ou de leurs représentants (mission de l'autorité environnementale, secrétariat permanent pour la prévention des pollutions, commission nationale du débat public...). Il convient de suivre les réflexions sur les trajectoires possible de ces fonctions et leur rôle, qu'il peut être intéressant de mettre au regard des travaux réalisés pour étudier ce phénomène dans le domaine de la recherche.

Les travaux sur les risques doivent pouvoir disposer de clefs de compréhension des nouvelles formes d'interactions avec la société civile dans les processus de décision publique. La question de la virtualisation de la participation (Mabi, 2021) est ainsi un enjeu à suivre (notion de *civic tech*), ainsi que la dimension fortement territorialisée des réflexions. Dans le domaine des risques, le dialogue science-société est souvent réduit à des questions de perception, dont l'analyse est largement fondée sur des approches de psychologie individuelle, associées à des enjeux de communication ou de sensibilisation. Il est intéressant d'étudier les limites de ces approches et comment les acteurs tentent de les renouveler, à la lumière des transitions écologiques, énergétiques, numériques à mettre en œuvre, en revenant à la source « politique », pour ne pas dire démocratique, de la participation.

4.4 Rapport à l'innovation technologique

4.4.1 L'innovation technologique comme progrès ?

De récents travaux de sociologie des sciences et d'histoire des techniques ont décrit le caractère politiquement, socialement et culturellement construit, situé dans le temps, du concept d'« innovation technologique ». Le développement technique, savoir-faire puis « art des machines », a longtemps été synonyme de progrès linéaire, démontrant la capacité de l'intelligence humaine à s'extraire d'un milieu physique hostile, et à le maîtriser. Les sociétés occidentales passent sans heurt du XIX^{ème} siècle des inventions et découvertes émancipatrices de la condition humaine au XX^{ème} siècle de l'innovation, pensée comme la condition de la croissance économique, de la prospérité des organisations et du bien-être social. Signe de cette hégémonie, le champ lexical de l'innovation absorbe le concept de « technologie » (qui en devient synonyme), et celui plus large de « modernité », tout en s'arrogeant au passage le monopole de la science (qu'illustre le néologisme « technoscience » du second XX^{ème} siècle). Ce récit évolutionniste et « héroïque » dominant, fondé sur la confiance dans l'avenir, a rendu inaudible les voix étouffées de ses détracteurs et de fait, invisibilisé la question des conséquences néfastes de l'innovation (Fressoz, 2020). Les nouvelles grilles de lecture de la responsabilité des systèmes techniques dans la situation d'urgence environnementale (avec les notions

d'« anthropocène », « capitalocène », « technocène »...) et l'analyse de leur (in)capacité à résoudre les crises, changent la donne. Il convient ainsi d'appréhender comment évolue la représentation du bénéfice-risque associé à l'innovation. L'ère actuelle voit coexister et s'affronter une diversité d'approches systémiques de cette dernière : simple regard critique ou expression d'une résistance (voire aversion technologique) ; consumérisme, voire « solutionnisme » technologique amplifié par l'accélération numérique.

A rebours du discours emphatique sur le progrès technique, les travaux de socio-histoire ont déconstruit les mythes de l'innovation présentée comme œuvre singulière, spontanée et indépendante. Ils ont montré que l'innovation technologique n'est jamais neutre : c'est un effort collectif, intentionnel et un terrain où s'exercent des forces sociales, idéologiques, politiques. Loin d'être « prédéterminées », les innovations doivent être analysées comme des choix portés par des acteurs défendant leur propre vision du monde (Jarrige, 2019). La veille technologique ne peut se contenter de suivre des objets techniques en émergence, en restant déconnectée des rapports sociaux qui s'exprime à travers eux, des relations de pouvoir dans lesquelles ils sont pris, du régime politique, démocratique, qu'ils légitiment. Dans cette grille de lecture qui replace la technique dans son contexte d'émergence et de développement, la veille ne peut pas non plus faire l'économie de suivre les trajectoires des acteurs et réseaux de l'innovation, traditionnels comme nouveaux, et d'analyser les intérêts économiques et financiers qui sous-tendent les innovations technologiques. Parmi les dimensions à suivre, on compte également les mutations des politiques d'innovation à différentes échelles (internationale, européenne, nationale) et l'analyse de leur interdépendance.

4.4.2 Un « changement de paradigme » en matière de technologie

L'innovation technologique s'appuie sur les principes de la recherche dit « industrielle », dont le fonctionnement diffère notablement de la recherche académique. La logique de la recherche industrielle se fonde sur la production de savoirs immédiatement applicables, qui servent l'action, dans la droite ligne, en France, de l'héritage positiviste qui a popularisé une vision de l'industrie transformant la science en action politique et sociale. La recherche industrielle donne un rôle central à la mise en œuvre dans l'évaluation et la validation de la connaissance : cela se traduit par exemple par l'importance des processus d'homologation (brevet...) et par la place accordée à la « mise à l'échelle » d'une innovation et à son acceptation par des utilisateurs toujours plus nombreux. Les valeurs de la recherche industrielle sont directement liées à la valeur marchande, au travers des notions prédominantes d'efficacité, de compétitivité... La veille doit pouvoir donner les moyens d'analyser les changements qui peuvent s'opérer dans cette conception de la recherche et dans les pratiques établies pour produire l'innovation, dans le rapport au marché ou à d'autres formes de production de connaissance scientifique (André, 2020).

Il semble également indispensable de suivre les conséquences qu'engendre la transformation du rapport que les acteurs et la société entretiennent avec l'innovation sur le processus lui-même (Aggeri, 2023). L'accélération du temps induit une exigence accrue de flexibilité, susceptible de modifier le processus d'innovation, et, *in fine*, l'évaluation et le traitement des risques associés au développement d'un objet technique. Avec la prise de conscience des effets négatifs sur l'environnement, le processus d'innovation est confronté à plusieurs défis : il doit tenir compte de la complexité systémique inédite de ses conséquences, de la finitude des ressources qu'il exploite et de l'irréversibilité de phénomènes déstabilisateurs qu'il alimente (« points de bascule » ou *tipping points*). Un axe d'analyse porte ainsi sur la revendication croissante de réversibilité lors de la mise en œuvre des technologies. Allant plus loin que le *safety by design* , il s'agit d'intégrer la possibilité de stopper à tout moment l'usage d'une technologie si le risque excède le bénéfice. A cette question est associée l'idée de pouvoir « restaurer l'état initial » en cas de problème, ce qui nécessite d'anticiper, pour ainsi dire par conception, les impacts négatifs qu'une technologie en devenir peut avoir. Ce compartiment de veille vise plus globalement à suivre les trajectoires des réflexions « éthiques » sur l'innovation et leurs conséquences, comme par exemple les contours de la notion d'« innovation responsable ».

4.4.3 Le périmètre des nouvelles formes d'innovation

En matière de veille de l'innovation, la focale est souvent dirigée sur les objets techniques nouveaux et la science qui les soutient en dehors d'un cadre dynamique. Le passage des sociétés occidentales dans le « temps de l'accélération », que porte la notion d'innovation, a raccourci les horizons, stratégiques, politiques économiques et scientifiques. L'élévation du rythme de la production de connaissances, l'obsolescence rapide des concepts scientifiques ont, elles aussi, des conséquences qui méritent d'être investiguées, notamment au regard de la connaissance des risques et des impacts que les nouvelles

technologies peuvent générer. Il semble également utile de s'intéresser à d'autres dimensions de l'innovation qui sont créatrices de valeur, dans un contexte où l'innovation manifeste un caractère de plus en plus intégré : il convient alors de cerner comment les innovations sociales, organisationnelles, économiques, juridiques... interagissent avec l'innovation technologique (Quaderni, 2016). Le développement de méthodes collaboratives au sein des organisations est par exemple un sujet à suivre.

Désacralisée, l'innovation est aujourd'hui conçue comme plurielle (Godin et al., 2021) : cette approche nécessite ainsi d'explorer d'autres trajectoires que la « révolution technologique » ou l'innovation de rupture. L'innovation est aussi le produit de l'autonomie et de la liberté dont disposent les acteurs pour trouver des solutions pragmatiques : elle peut constituer un assemblage, un « bricolage », une adaptation continue. Par rapport à la question des risques, il est utile de considérer les multiples facettes de ce que recouvre la notion d'innovation, en particulier celles qui ont été disqualifiées et écartées par l'imaginaire contemporain : l'imitation, l'innovation « hors-la-loi », l'innovation revisitée, les « tendances de modes » dans l'innovation, la lenteur dans l'innovation (« luddisme écologique » prônant le ralentissement numérique par exemple), le choix de ne pas innover, l'échec de l'innovation, la maintenance des innovations existantes. On pense également à l'innovation « par retrait » à laquelle peuvent s'apparenter les *low-tech* qui se développent aujourd'hui ou la notion d'« innovation inversée » répandue dans les pays du Sud. Cet élargissement de l'horizon de l'innovation amène à s'intéresser autant aux usages des technologies qu'à leur conception, et aux effets « transformants » des pratiques sur ces mêmes technologies.

4.5 Culture du risque

4.5.1 De la culture du risque à la culture de la résilience

La culture du risque nécessite de suivre les trajectoires que l'acception du terme « risque » recouvre au sein des politiques publiques, à l'échelle nationale et européenne, et son usage dans les jeux d'acteurs institutionnels, le cadre juridique, les formes d'organisation et les pratiques professionnelles (Cerema, 2019). La définition même de l'expression « culture du risque », son périmètre, ses finalités sont encore objets de débat. Il semble intéressant de cerner les réalités (ou les fantasmes) que cette expression recouvre aujourd'hui. La culture du risque est également indissociable du champ dans lequel elle a émergé et elle est déployée, les politiques de prévention et réduction des risques de catastrophes (CRR). Il apparaît utile de suivre la façon dont cette notion se construit et évolue, la façon dont elle s'insère dans les politiques de prévention des catastrophes, notamment dans les travaux portant sur les retours d'expérience de situation de crise ou d'accident (Fenet et al., 2020).

Les efforts actuels des politiques publiques pour faire progresser la culture du risque développent des approches intégrées notamment par le biais du concept désormais très (trop ?) répandu de « résilience », dont il convient de suivre les contours, les limites et les évolutions (Reghezza-Zitt, 2020). Le parti-pris systémique nécessite également de combiner ou d'associer des approches de gestion de risques jusqu'alors traités séparément, en premier lieu la gestion des risques naturels et la maîtrise des risques technologiques, dont il convient de comprendre les synergies ou les antagonismes, et la façon dont ils sont traités. L'urgence climatique est également un facteur d'influence (et d'accélération) des réflexions sur une culture globalisée des risques, dont il est important de suivre la trajectoire. Il est important de pouvoir appréhender les convergences, divergences et décalages dans le développement d'un imaginaire collectif « multi-risques » (Douvinet et al., 2013 ; Ferrer et al., 2018). Plus largement, la veille peut permettre d'approfondir les interactions entre une culture du risque principalement conçue dans une perspective de gestion de crise et une réflexion plus générale sur l'éducation aux risques technologiques en dehors de toute logique accidentelle.

4.5.2 Avatars de la culture de sécurité

En lien avec l'affaiblissement du modèle industriel unique, la veille s'intéresse à la pérennité d'une culture de sécurité forte et homogène (Waring, 2019). Dans le contexte des transitions, la culture de sécurité « industrielle » nécessaire à la maîtrise satisfaisante des risques tend à déborder de son périmètre initial, celui des activités traditionnellement identifiées comme à risque technologique majeur (chimie, énergie...). Ces activités ont construit dans la durée et placé au cœur de leur stratégie une culture de la sécurité, avec ses concepts, ses méthodes, ses codes, ses organisations, ses acteurs, dont il convient de suivre les évolutions. Or les transitions investissent des secteurs économiques ou des domaines techniques dont les acteurs n'ont pas les clefs de cette culture : ce phénomène s'observe déjà dans les filières énergétiques, à l'instar de la méthanisation agricole ou de l'hydrogène énergie par exemple. La question de la formation, de la sensibilisation de toute la chaîne d'acteurs aux dangers,

risques, impacts, prend une importance cruciale. Il est donc indispensable d'identifier les insuffisances et d'analyser les verrous et les leviers propres à l'acquisition de cette culture, et de voir comment la culture de sécurité va évoluer avec la diversification des modèles industriels.

Un autre axe d'investigation permet de suivre le développement d'approches « systémiques » des représentations culturelles du risque, qui interrogent, en se fondant sur les interactions entre le site industriel et son territoire d'implantation, le rapport entre culture de sécurité et culture du risque. La connaissance du risque et la pratique de la sécurité dans l'organisation interne d'une installation ont jusqu'alors rarement, voire jamais été mises en rapport avec la connaissance et la pratique au sein du territoire auquel elle est directement liée. Il semble pertinent de suivre la façon dont les réflexions sur cette question peuvent se déployer. Une approche intégrée des risques comme celle que l'Ineris développe tirerait profit de l'analyse croisée de ces cultures, et de l'analyse de la construction d'une approche collective de la sécurité partagée entre tous les acteurs. Investiguer les ressorts d'une culture intégrée et territoriale du risque appelle également à explorer la question de la préservation de la « mémoire » des risques par les acteurs concernés, les verrous et leviers qui pèsent ou agissent sur sa transmission et son exploitation.

5 Conclusions

L'état des lieux dressé par le présent rapport de veille prospective a vocation à constituer un cadre structurant pour l'activité de veille de l'Institut. Les multiples facettes mises en lumière pour chacun des thèmes retenus sont autant de points de repère pour définir le périmètre d'exploration. Ce cadre est évidemment conçu comme évolutif et pourra faire l'objet d'aménagement en fonction des résultats qui seront remontés en pratique, et en fonction des enseignements que l'analyse des données permettra de tirer.

Le produit de la surveillance sera régulièrement mis à la disposition de tous les collaborateurs de l'Institut, pour irriguer en continu les travaux en cours et à venir. Certains éléments issus de l'activité de veille viendront également alimenter, ponctuellement, les échanges avec les instances de gouvernance scientifique de l'Institut (Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise, Conseil scientifique...). Ils pourront par ailleurs servir de base à des réflexions partagées plus approfondies si l'Institut le juge pertinent.

En outre, l'Ineris a souhaité que le présent rapport ouvre une collection qui continue à être une ressource partagée et accessible à tous. Un deuxième rapport de veille prospective est inscrit au Contrat d'objectifs et de performance (COP) 2021-2025, comme jalon pour 2025. Cette deuxième publication aura vocation à creuser un ou plusieurs sujets identifiés dans le panorama des enjeux.

6 Sélection de sources d'intérêt

Le présent rapport de veille prospective n'a pas vocation à établir une liste exhaustive de références bibliographiques sur les points abordés dans l'état des lieux. Il vise à partager une sélection de sources récentes que l'Institut juge éclairantes pour alimenter sa réflexion prospective et son analyse stratégique.

6.1 Méthodes & modèles

ALLARD, D., CURT C., EVIN G., OPITZ T., *Analyse multirisque : concepts, méthodes et verrous, un état de l'art prospectif*, hal-041085479, 2021.

BOUDIA, S., HENRY, E. (dir.). *Politiques de l'ignorance*. Paris : PUF, 2022.

BOURG, D., JOLY, P-B., KAUFMANN, A. (dir.). *Du risque à la menace. Penser la catastrophe*. Paris : PUF, 2013.

BREQUE, M., DE NUL, L., PETRIDIS, A. *Industrie 5.0 : vers une industrie européenne durable, centrée sur l'humain et résiliente*. Note d'information de la Commission européenne, 2021.

CLAASSEN, J.N., WARD, P.J., DANIELL, J. et al. *A new method to compile global multi-hazard event sets*. Scientific Reports 13, August 2023.

Comité d'éthique du CNRS (COMETS). *Science, risques et principe de précaution*. Avis n°41, 2021.

BERGERON, H., BORRAZ, O., CASTEL, P., DEDIEU, F. *Covid-19 : une crise organisationnelle*. Paris : Presses de Sciences Po, 2020.

CURT, C. *Multirisques : quelles orientations de recherche dans les travaux récents ?* 22e Congrès de Maîtrise des Risques et Sécurité de Fonctionnement λ μ22, Le Havre, 2020.

DEDIEU, F. *Pesticides, le confort de l'ignorance*. Paris : Seuil, 2022.

DE RUITER, M., VAN LOON, A. *The challenges of dynamic vulnerability and how to assess it*. Science Volume 25, August 2022.

European Parliament Research Service (EPRS). *Future shocks 2023. Anticipating and weathering the next storms*, July 2023.

FEGER, C., LEVREL, H., RAMBAUD, A. *Ecological Accounting: How to organize information for biodiversity conservation decision and action at the national, business and ecosystem levels?* Input paper to the NGFS-INSPIRE study group on Biodiversity and Financial stability, November 2021

France Stratégie. *Inégalités sociales et environnementales se superposent-elles ?* Note d'analyse 112, septembre 2022.

GAUB, Florence. *Global trends 2030: challenges and choices for Europe*. Report for the European Strategy and Policy Analysis System (ESPAS), April 2019 and *The Global future: an update*, ESPAS Global Trends Mid-term report, November 2021.

GILL J.C., MALAMUD B.D., *Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies*, Earth System Dynamics, Vol. 7, p. 659–679, DOI : 10.5194/esd-7-659-2016, 2016.

GILL, J.C., DUNCAN, M., CIUREAN, R., SMALE, L., et al. *Handbook of Multi-hazard, Multi-Risk Definitions and Concepts*. H2020 MYRIAD-EU Project, 2022.

GIREL, M. *Science et territoires de l'ignorance*. Paris : Quae, 2017.

HARTOG, F. *Chronos : l'Occident aux prises avec le Temps*. Paris : Gallimard, 2020.

HENRY, E. *La fabrique des non-problèmes. Ou comment éviter que le politique s'en mêle*. Paris : Presses de SciencePo, 2021.

HOCHRAINER-STIGLER, S., ŠAKIĆ TROGRLIĆ, R., REITER, K. et al. *Toward a framework for systemic multi-hazard and multi-risk assessment and management*, iScience, Volume 26, 2023.

JOUZEL, J.-N. *Pesticides. Comment ignorer ce que l'on sait ?* Paris : Presses de Science-Po, 2019.

Ignorance(s). Revue d'anthropologie des connaissances, 15-4, 2021.

International Science Council (ISC). *A synthesis of research gaps for science to enable societies to accomplish the Sustainable Development Goals by 2030*, 2021.

International Science Council (ISC). *Flipping the Science Model: A Roadmap to Science Missions for Sustainability*, 2023.

L'âge industriel. 200 ans de progrès et de catastrophes. L'Histoire, Les Collections n° 91, avril-juin 2021.

La gestion publique des risques, rapport de la Cour des Comptes, juin 2023.

Le principe de précaution. Archives de philosophie du droit, vol. 62, n°1, 2020.

Les transitions écologiques. La pensée écologique n°1, Octobre 2017.

MASTRANGELO, M.E., PEREZ-HARGUINDEGUY, N., ENRICO, L. et al. *Key knowledge gaps to achieve global sustainability goals*. Nature Sustainability 2, 2019.

MLADINEO N., MLADINEO M., BENVENUTI E., et al. *Methodology for the Assessment of Multi-Hazard Risk in Urban Homogenous Zones*. Applied Sciences 12, 2022.

OCDE. *Global Scenarios 2035: Exploring Implications for the Future of Global Collaboration and the OECD*. Paris, 2021.

OWOLABI, T. A., SAJJAD, M. *A global outlook on multi-hazard risk analysis: A systematic and scientometric review*. International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 92, June 2023.

RENN O., LAUBICHLER M., LUCAS K., KRÖGER W., SCHANZE J., SCHOLZ R., SCHWEIZER P.J., *Systemic Risk from different perspectives*, in: Risk Analysis, Volume 42, Issue 9: special series: Wiley online library, p. 1893–2124, 2022.

REY-THIBAUT, C., GOURAIN, Y., NOVEMBER, V. *Une approche multirisque aide-t-elle à comprendre les réseaux urbains ? Réflexions sur des dynamiques achevées à partir de deux agglomérations françaises et une métropole turque*. Flux, 132, 2023.

SCHOEPFER, E., LAUTERJUNG, J., RIEDLINGER, T., et al. *Between global risk reduction goals, scientific-technical capabilities and local realities: a novel modular approach for multi-risk assessment*, Natural Hazards Earth System Science [preprint], in review, July 2023.

Peut-on assurer un monde qui s'effondre ? Proposition de réflexion sur les collisions entre le secteur de l'assurance et l'Anthropocène. Etude initiée et conduite par Sinonvirgule, février 2023.

United Nations office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). *Bilan mondial sur la réduction des risques de catastrophe 2022 – Notre monde en danger : Transformer la gouvernance pour un avenir résilient*. Genève, 2022.

UNDRR & ISC. *Hazard Definition and Classification Review: Technical Report*, 2020.

6.2 Facteurs de risque

2050 : garder le cap de la transition énergie-climat. Futuribles n°455, juillet-août 2023.

ADEME. *Transition(s) 2050*. Rapport de prospective, novembre 2021.

ADEME. *Risques physiques et adaptation au changement climatique de l'industrie*, collection Clés pour agir, 2022.

AGGERI, F., BEULQUE, R., MICHEAUX, H. *L'économie circulaire*. Paris : La Découverte, 2023.

ALIX, N., BANCEL, J.-L., CORIAT, B., SULTAN, F. *Vers une république des biens communs ?* Paris : Les Liens qui libèrent, 2018.

ANISIMOV, A., VALLEJO, L. *Defining climate vulnerability in the context of Loss & Damage: a scientific, legal and political question*. Study N°02/23, Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI), 2023.

ARNAULD DE SARTRE, X., CHAILLEUX, S. (dir). *Pour une géologie politique*. Natures, sciences, sociétés, 29, supp., 2021.

BAFOIL, F. *Adaptation des territoires au changement climatique : étude comparative de territoires européens. Partie I : le cas France*. Rapport réalisé pour le compte de la Caisse des Dépôts, juillet 2022.

BALAN L., BERTRAND, M., BONGIOVANNI, R., DEBIEMME-CHOUVY, C., DELVILLE, M-H. et al. *Rapport de Prospective 2023 du Conseil Scientifique de l'Institut de Chimie du CNRS*. Centre national de la recherche scientifique, 2023.

BRAND, M. *Sobriété : une révolution à bas bruit*. Note de vigie de l'Association Futuribles, mars 2022.

BRAUNSCHWEIG, B. *Les cinq murs de l'intelligence artificielle*. *Futuribles* n°453, mars-avril 2023.

BULKELEY, H. et al. *Building Synergies Between Climate & Biodiversity Governance: A Primer For Cop28*. September 2023.

Caisse des Dépôts (CDC). *Economie de la sobriété énergétique*. Rapport de la filière Recherche et prospective, juillet-décembre 2022.

CERCEAU, J., LAURENT, B. *Quand la mine déborde. Enquêtes sur la fabrique des territoires miniers*. Paris : Presse des Mines, 2023.

Comité national pilote d'éthique du numérique (CPEN). *Systèmes d'intelligence artificielle générative : enjeux d'éthique*. Avis n°7, juin 2023.

Commission européenne. *Vers une Europe durable à horizon 2030*. Document de réflexion, 2019.

Commission nationale Informatique et Libertés (CNIL). *Données, empreinte et libertés. Une exploration des intersections entre protection des données des libertés, et de l'environnement*. *Cahiers IP innovation et prospective* n°9, juin 2023.

DENIS, J., PONTILLE, D. *Le soin des choses. Politiques de la maintenance*. Paris : La Découverte, 2022.

Digital Challenges in International Law. Livre blanc de l'Association de droit international (ADI), juillet 2022.

EBERLE, C., O'CONNOR, J., NARVAEZ, L., MENA BENAVIDES, M., SEBESVARI, Z. *Interconnected Disaster Risks: Risk Tipping Points*. Bonn: United Nations University – Institute for Environment and Human Security, 2023.

European Commission. *Strategic foresight report. Sustainability and people's wellbeing at the heart of Europe's Open Strategic Autonomy*, July 2023.

France Stratégie. *Risques climatiques, réseaux et interdépendances : le temps d'agir*. Note d'analyse 108, mai 2022.

France stratégie/CGEDD. *Prospective 2040-2060 des transports et des mobilités*. Rapport de synthèse, février 2022.

GEELS, F. *Transformative innovation and socio-technical transitions to address grand challenges*. Rapport de la DG Recherche & Innovation de la Commission européenne, février 2020.

Geneva science & diplomacy anticipator's (GESDA). *The GESDA 2023 Science Breakthrough Radar. Annual report on Science Trends at 5, 10 and 25 years*, October 2023.

GOULET, F., VINCK, D. *Faire sans, faire avec moins. Les nouveaux horizons de l'innovation*. Paris : Presse des Mines, 2022.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). *Rapports d'évaluation*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Library.

Institut national de recherche et de sécurité (INRS). *L'intelligence artificielle au service de la santé et de la sécurité au travail. Enjeux et perspectives à l'horizon 2035*. Rapport d'exercice de prospective, novembre 2022.

JARRIGE, F., TORDJMAN, H. (coord.). *Décroissances. Regards croisés sur les urgences du temps*. Lorient : Le Passager clandestin, 2023.

La Fabrique Ecologique. *Vers des technologies sobres et résilientes – Pourquoi et comment et développer l'innovation « low-tech » ?*, Note n°31, avril 2019.

LEPENSANT, G. *Adaptation des territoires au changement climatique : étude comparative de territoires européens. Partie II.* Rapport réalisé pour le compte de la Caisse des Dépôts, décembre 2022.

Les Entreprises du médicament (LEEM). *Santé 2030. Une analyse prospective de l'innovation en santé.* 2020.

LONGARETTI, P.-Y., BERTHOUD F. *Le numérique, espoir pour la transition écologique ?* L'Économie politique, 90, 2021,

MABI, C. *La « civic tech » et « la démocratie numérique » pour « ouvrir » la démocratie ?*, Réseaux, vol. 225, no. 1, 2021.

MARELLA, M. R. *La propriété reconstruite : conflits sociaux et catégories juridiques.* Tracés. Revue de Sciences humaines, #16, 2016.

MATTI, C. et alii. *Towards a Fair and Sustainable Europe 2050: Social and Economic Choices in Sustainability Transitions.* Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne / Joint Research Centre (JRC Science for Policy Report), juillet 2023.

MORA, O.(coord.). *European Chemical Pesticide-Free Agriculture in 2050 Foresight report.* Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), November 2023.

Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE). *Gérer les risques climatiques et faire face aux pertes et aux dommages.* Paris : Éditions OCDE, 2022.

OCDE. *Net Zero+ : Climate and Economic Resilience in a Changing World.* Paris, 2023.

PAVEL, I. *Géo-ingénierie : perspectives et limites.* Annales de Mines – Responsabilité & environnement n°105, janvier 2022.

PERRET, B. *Les enjeux de l'économie collaborative.* Études, n°1, 2019.

POMMERIEUX, M., BLANC, N. LAIGLE, L., TONNELAT, S. *Capabilités et adaptation en Île-de-France. De la difficulté à intégrer les capabilités dans les plans locaux d'adaptation au changement climatique.* Natures, sciences, sociétés, 29, 2021.

Prospective scientifique 2023 pour la recherche française sur la biodiversité. Rapport de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB) et de l'alliance Allenvi, octobre 2023.

RENAUD, C. BERNARD, C., BURGER, N. *La synchronisation du droit et de l'innovation. Regard sur les objets connectés.* Institut des systèmes complexes, Université de Lyon, 2018.

Réseau PROSPER. *Big & Open data en recherche à l'horizon 2040. La vision prospective d'acteurs de la recherche publique.* Rapport du groupe de travail inter-organismes, avril 2019.

ROUET, Gilles (dir.). *Algorithmes et décisions publiques.* Paris : CNRS Éditions, 2019.

Scénarios de rupture à l'horizon 2040-2050. Rapport de vigie de l'association Futuribles, décembre 2020.

SCHIAVO, M., LE MOUËL, C., POUX, X., AUBERT, P.-M. *The land use, trade, and global food security impacts of an agroecological transition in the EU.* Frontiers in Sustainable Food Systems, Vol. 2, 2023.

Solagro. *Afterres 2050. Un horizon pour l'agriculture et l'alimentation.* Décembre 2016 et *Afterres 2050 Biodiversité*, novembre 2022.

SOVACOO, B., ISKANDAROVA, M., GEELS, F. *"Bigger than government": Exploring the social construction and contestation of net-zero industrial megaprojects in England.* Technological Forecasting & Social Change 188, 2023.

VELTZ, P., *Bifurcations. Réinventer la société industrielle par l'écologie ?*, La Tour-d'Aigues : L'Aube, octobre 2022.

VILLALBA, B., SEMAL, L. *Sobriété énergétique. Contraintes matérielles, équité sociale et perspectives institutionnelles.* Paris : Quae, 2018.

VISSEREN-HAMAKERS, I.J., KOK, M.T. J, eds. *Transforming Biodiversity Governance.* Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

WWF. *Biomasse : un réel potentiel pour la transition énergétique ?* Rapport WWF France, janvier 2022.

ZWINGELSTEIN, G. *La maintenance prédictive intelligente pour l'industrie 4.0. Techniques de l'ingénieur*, octobre 2019.

6.3 Jeux d'acteurs

AGGERI, F. *L'innovation, mais pourquoi faire ? Essai sur le mythe économique, social et managérial*. Paris : Seuil, 2023.

All European Academies (ALLEA). *Fact or Fake? Tackling Science Disinformation*. ALLEA Discussion Paper, 5. Berlin, 2021.

ANDRE, J-C. *L'innovation de rupture, élément d'une éthique du futur applicable à la sante environnementale ? Environnement, Risques & Santé* vol.19, n°6, novembre-décembre 2020.

BARRE, R., JOLLIVET, M. *Interdisciplinarité et recherche participative : deux régimes de recherche pour la transition écologique et solidaire. Une mise en perspective programmatique. Natures Sciences Sociétés* 31, 1, 2023.

BASDEVANT, A., HARFOUSH, R. *Récits et contre-récits. Itinéraires des fausses informations en ligne*. Rapport du Conseil national du numérique, juin 2021.

BEDESSEM, B. RUPHY, S. *Citizen Science and Scientific Objectivity: Mapping Out Epistemic Risks and Benefits, Perspectives on Science*, vol. 28, n° 5, 2020.

BOUDIA, S., JAS, N. *Gouverner un monde toxique*. Versailles : Quae, 2021.

CASTAGNEYROL, B., BOTELLA, C., FONTAINE, B. *Sciences citoyennes et qualité des données sur la biodiversité : un faux problème ? NOV'AE, Sciences et recherches participatives à INRAE*, n° spécial 01, 2021.

CEREMA. *Culture du risque : recueil et analyse d'actions innovantes en France*. Rapport réalisé pour la DREAL Nouvelle Aquitaine, mai 2019.

CHARVOLIN, F. HEATON, L. *Au-delà des intentions de collégialité de la vigilance environnementale. Revue d'anthropologie des connaissances*, 16-4, 2022.

CHAVALARIAS, D. et alii. *Les nouveaux fronts du dénielisme et du climato-scepticisme*. Rapport de l'Institut des systèmes complexes Paris IdF (ISC-PIF), CNRS, février 2023.

CLAVEAU, F., PRUHD'HOMME, J. (dir.). *Experts, sciences et société*. Montréal : Presses de l'Université de Montréal, 2018.

DEMORTAIN, D. *Être chercheur, devenir expert ? L'économie morale du rapport à l'expertise dans un laboratoire de toxicologie. Revue d'anthropologie des connaissances*, 15 (15-1), 2021.

DOUVINET, J., PALLARES, R., GENRE-GRANDPIERRE, C., et al. *L'information sur les risques majeurs à l'échelle communale. Cybergeog: European Journal of Geography*, Espace, Société, Territoire, document 658,, 2013.

DUBOIS M., GUASPARE C. *L'intégrité scientifique et l'éthique de la recherche à l'épreuve de la crise Covid-19*. Rapport de recherche, Sorbonne Université, 2022.

Être humain, êtres humains en 2050 : imaginaires, individus, sociétés en Occident. Rapport de vigie de l'association Futuribles, juillet 2023.

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. *Trust at Risk: Implications for EU Policies and Institutions*. Report of the Expert Group, 2017.

FENET, J., DAUDE, E. *La population, grande oubliée des politiques de prévention et de gestion territoriales des risques industriels : le cas de l'agglomération rouennaise, Cybergeog: European Journal of Geography* Espace, Société, Territoire, document 932, 2020.

FERRER, L., CURT, C., TACNET, J.-M. *Analysis of a risk prevention document using dependability techniques: a first step towards an effectiveness model, Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 2018.

FIORINI, C. « Quand l'objet et le terrain de recherche valent avec l'engagement. Thèse et mission d'expertise sur la co-production des savoirs » in BALLON Justine, LE DISLOQUER Pierre-Yves et

- THORIGNY Maxime, (dir.), *La recherche en action : quelles postures de recherche ?*, Reims : Éditions et presses universitaires de Reims, 2019.
- FRAGNIERE, A. *L'engagement public des universitaires : entre liberté académique et déontologie professionnelle*. Rapport du Groupe de travail sur la recherche et l'engagement, Université de Lausanne, mai 2022.
- FRESSOZ, J-B. *L'Apocalypse joyeuse. Une histoire du risque technologique*. Paris : Points Seuil, rééd. 2020.
- GARROCCQ, J-B., PARASIE, S. *Peut-on redistribuer la surveillance de la qualité de l'air ?* Revue d'anthropologie des connaissances, 16-4, 2022.
- GIRY, J. *Fake news et théories du complot en période(s) pandémie(s)*, Quaderni, vol. 106, n°2, 2022.
- GODIN, B., GAGLIO, G. VINCK, D. *Handbook on alternative theories of innovation*. Cheltenham-Northampton : Edward Elgar Publishing, 2021.
- GODRIE, B., JUAN, M., CARREL, M. *Recherches participatives et épistémologies radicales : un état des lieux*. Participations, 32, 2022.
- GRAMAGLIA, C. *Habiter la pollution : expériences et métrologies citoyennes de la contamination*. Paris : Presses des Mines, 2023.
- Haute Autorité de Santé (HAS). *L'expertise publique en santé en situation de crise - Rapport d'analyse prospective*, 2022.
- HECKER, S., HAKLAY, M., BOWSER, A., et al. *Citizen Science. Innovation in Open Science, Society and Policy*. London: University College London, 2018.
- HENRIET, P., OUZOULIAS, P. *Promouvoir et protéger une culture partagée de l'intégrité scientifique*. Rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (OPECST), mars 2021.
- JARRIGE, F. *De l'innovation héroïque au Technocène. Réflexions sur l'histoire des techniques à l'ère des crises écologiques*. Critical hermeneutics, vol. 3, n°1, juin 2019.
- KAMATE, C. *Participation citoyenne et risques industriels. Quelques pistes pour engager une démarche*. Les Cahiers de la sécurité industrielle n°3, Fondation pour une culture de sécurité industrielle, 2016.
- LAROCHE, H., BIEDER, C., VILLENA-LOPES, J. *Managing Future Challenges for Safety: Demographic Change, Digitalisation and Complexity in the 2030s*. Springer Cham, 2022.
- Les nouveaux vecteurs de la crédibilité scientifique à l'interface entre mondes sociaux*. Revue d'anthropologie des connaissances, 17-2, 2023.
- LESNE, J. *Développer la participation citoyenne pour mieux intégrer science et action publique : le cas de la recherche en santé environnementale et de la prévention*. Environnement, Risques & Santé, volume 20, n°5, 2021.
- LHOSTE, E. *Structurer les recherches participatives : éléments de diagnostic*. Rapport de recherche, INRAE UMR LISIS, mars 2021.
- L'Innovation dans tous ses états – I*. Quaderni 90, printemps 2016.
- L'innovation dans tous ses états – II*. Quaderni 91, automne 2016.
- MARTINAIS, E. *Le conflit comme mode de participation. Les habitants contestataires de la politique de prévention des risques industriels*. Participations, 13, 2015.
- MAZEAUD A. *Gouverner la transition écologique plutôt que renforcer la démocratie environnementale : une institutionnalisation en trompe-l'œil de la participation citoyenne*, Revue française d'administration publique, n°179, 2021.
- Réseau national des Maisons des sciences de l'homme (dir.). *L'interdisciplinarité sans concession*. Paris : Editions Athena, 2023.
- REGHEZZA-ZITT, M. *La résilience, opportunité ou fausse-piste ?* Annales des Mines - Responsabilité & environnement n°98, avril 2020.

SALTELLI, A., FUNTOWICZ, S. *What is science's crisis really about?*, Futures, Volume 91, 2017.

WARING, A. *The five pillars of occupational safety & health in a context of authoritarian socio-political climates*, Safety Science, Volume 117, 2019.

