

# Science en conscience, enjeux écologiques et de société

## Bilan et perspectives des Assises toulousaines de la Recherche en Ingénierie 2022

Pierre Aimar, François Charru, Olivier Eichwald, Vincent Gerbaud, Julia Hidalgo, Catherine Jeandel, Gaël Le Roux, Liviu Nicu, Michèle Sibilla, Mathieu Sperandio, Pierre Temple-Boyer, Laure Teulières, Olivier Vanderhaeghe

Avril 2023

## Préambule

L'humanité se trouve aujourd'hui confrontée à des crises sociales, économiques et environnementales toujours plus intenses et globales, dont les effets sont ressentis en termes de dégradation de l'environnement, d'injustices sociales et de problèmes croissants d'accès à l'énergie, à l'eau et à l'alimentation. L'ingénierie, qui au cours des deux derniers siècles a largement contribué à l'amélioration des conditions de vie, porte une responsabilité dans ces crises que des organismes scientifiques internationaux tels que le GIEC et l'IPBES ont clairement établie (IPBES, 2019 ; GIEC IPCC, 2021, 2022a, 2022b). Dans ce contexte, il devient impératif pour les chercheurs en ingénierie d'interroger la place et les modalités de leurs activités de recherche.

Les activités humaines ont conduit au dépassement de six limites physiques planétaires au-delà desquelles se trouve remise en cause la stabilité de notre biosphère : le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, la perturbation des cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore, les changements d'utilisation des sols, l'utilisation de l'eau douce, et l'introduction de nouvelles entités dans l'environnement (Raworth, 2017 ; Wang-Erlandsson et al., 2022). La situation vis-à-vis de trois autres limites identifiées -- acidification des océans, appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique et concentration en aérosols atmosphériques -- est précaire ou mal connue. De plus, le dépassement de ces limites physiques s'accompagne d'une fragilisation des fondements sociaux de nos sociétés (accès à l'énergie, à l'eau, à l'alimentation, à la santé, à l'éducation, à une expression démocratique, à la justice, à l'équité sociale). Par ailleurs, l'interconnexion des problèmes (Boutaud et Gondran, 2020) rend insuffisante l'approche disciplinaire traditionnelle de ces problèmes, et pointe la nécessité d'une approche plus systémique et interdisciplinaire, qui mobilise tous les acteurs, scientifiques, industriels, politiques et citoyens.

Un exemple vertueux peut être ici rappelé : il est apparu dans les années 1980 que l'érosion de la couche d'ozone, qui protège la terre des rayonnements UV-B perturbateurs des cellules vivantes, a un impact crucial sur la biodiversité. La mobilisation de la communauté scientifique, des industriels et des décideurs politiques a alors conduit à l'interdiction de l'utilisation des gaz CFC (Protocole de Montréal, 1987), interdiction qui a permis, on le voit aujourd'hui, la reconstitution progressive de cette couche d'ozone. Ou encore, au milieu des années 1970 l'interdiction des additifs au plomb dans les carburants des moteurs, en raison de la dangerosité neurodégénérative de cet élément, a conduit à sa réduction drastique dans les milieux naturels. Ces exemples illustrent que des décisions mondiales sont possibles pour des problèmes sectoriels, s'il y a une volonté de concertation. Cependant, en dehors de ces exemples encourageants, les acteurs ne parviennent pas à s'accorder sur les mesures à déployer lorsqu'il s'agit de résoudre des problèmes systémiques, et de grande ampleur, de dégradation générale de notre environnement.

Au regard de ce contexte, et jugeant insuffisante sa prise en compte par leurs institutions, des chercheurs toulousains d'origines disciplinaires variées — des sciences du climat à l'histoire contemporaine, et autour d'un fort noyau de sciences pour l'ingénierie — ont ressenti le besoin de

réinterroger leurs réflexions et leurs pratiques. Ensemble, ils ont convoqué en juillet 2022 des *Assises toulousaines de la Recherche en Ingénierie* (ASRI 2022) avec pour sous-titre « Sciences en conscience, enjeux écologiques et de société ». L'objectif de ces Assises était d'inviter la communauté à une réflexion sur les enjeux liés aux activités de recherche et d'enseignement et leur lien avec les questions climatique et environnementale.

Au-delà des documents déjà élaborés et disponibles sur le site des assises (<http://asri2022-toulouse.fr/fr/index.html>), le comité d'organisation des *Assises* propose ici un document de prospective, organisé en trois sections. La première, qui suit, présente un court bilan des ASRI 2022. La deuxième esquisse une présentation générale des problèmes posés, en cinq sous-sections, et avance des éléments de réponse ou des pistes à explorer. La troisième et dernière section resserre la focale sur la situation toulousaine.

## 1 : Bilan des ASRI 2022

Les *Assises toulousaines de la Recherche en Ingénierie - Sciences en conscience, enjeux écologiques et de société* (ASRI 2022)<sup>[1]</sup>, tenues du 4 au 8 juillet 2022 à l'Université Toulouse Jean-Jaurès, ont rassemblé plus de 400 participants, en majorité chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs et étudiants. Les matinées des quatre premières journées ont été consacrées à des conférences plénières (trois par matinée) et les après-midis à des ateliers participatifs. Ces derniers, entre cinq et huit par après-midi, ont chacun rassemblé, autour de leur équipe d'animation, entre dix et trente participants. La matinée de la cinquième journée a été consacrée à un premier bilan et à l'ébauche de perspectives de poursuite de la réflexion engagée. Un tableau en annexe donne les titres et auteurs des conférences ainsi que la liste des ateliers organisés.

Les conférenciers ont exploré les enjeux écologiques et éthiques de la situation actuelle (réchauffement climatique, chute de la biodiversité, croissance des inégalités), et ont tous insisté sur la nécessité de prendre désormais en compte les contraintes liées aux limites physiques de notre planète, en termes d'exploitation des ressources, de gestion des déchets et plus généralement de gestion des impacts liés aux activités humaines. La notion de « progrès » héritée de la pensée moderne occidentale et des révolutions industrielles du XIX<sup>e</sup> siècle, ainsi que l'imaginaire associé -- une nature à maîtriser, la technique comme porteuse de solutions à tous les problèmes --, ont été fortement questionnés. Il s'agit donc aujourd'hui d'élaborer une conception nouvelle du progrès, intégrant, au-delà de seuls indicateurs de performance technologique ou d'activité économique, les dimensions écologique et humaine des problèmes, telle que lutte contre les inégalités, qualité des cadres de vie, santé publique, respect de toutes les formes de vie et d'existence.

Dans cette perspective, plusieurs pistes de réflexion et d'action ont été discutées, touchant (i) aux objectifs généraux de la recherche (pour quelles connaissances ? pour quels services à la société ? pour quelles industries ?), (ii) à l'évaluation de la recherche (jugée actuellement trop quantitative et insuffisamment ouverte), (iii) au pilotage de la recherche (régional et national, question des moyens récurrents versus appels à projets, échelles de temps, incitation à la pluridisciplinarité), (iv) à la gestion de la recherche (vœu d'évolution vers plus de souplesse, de reconnaissance de l'inadaptation d'une gestion analytique purement comptable). La section suivante, fruit de la réflexion poursuivie après les *Assises* par son comité d'organisation, explore plus en détail les pistes proposées, dans une visée plus prospective.

[1] \*<http://asri2022-toulouse.fr/fr/index.html>. L'intégralité des séminaires plénièrs a été captée et sera mise à disposition ouverte, accessible par ce site web. Des notes, carnets et vidéos seront progressivement mis en ligne sur <http://asri2022-toulouse.fr> afin de nourrir la réflexion.

## 2. Vision générale des problèmes, trajectoires de fond

### 2.1. Introduction

Face aux défis posés par ce que certains qualifient d'Anthropocène, des initiatives ont d'ores et déjà été prises par les acteurs de la recherche en ingénierie, ainsi que l'ont noté les participants aux *Assises*. Ces initiatives sont cependant insuffisantes. Cette section explore les manières dont elles pourraient être amplifiées, dans un cadre général qu'il s'agit de préciser. Cinq questions sont visitées ci-dessous : l'impératif de soutenabilité, le changement de paradigme à opérer, le dialogue aux interfaces avec la société, l'organisation de la recherche, et l'organisation des formations. Les évolutions proposées se veulent des pistes, sans intention prescriptive, pour une recherche en ingénierie plus consciente des enjeux en cours.

### 2.2. L'impératif de soutenabilité

Les limites physiques de notre planète imposent aux activités humaines d'être « soutenables » ou « durables », c'est-à-dire de pouvoir s'inscrire dans la durée, sans préjudice majeur porté à la nature, à l'environnement et au climat. L'éthique elle-même nous oblige à une gestion équitable des ressources, de leur utilisation, des déchets générés, dans le respect du reste du monde vivant.

L'exploitation des ressources du sous-sol, en particulier, pilier du mode de vie à l'occidentale, requiert beaucoup d'énergie, génère des déchets et se trouve aujourd'hui confrontée aux limites des réserves identifiées – en remarquant, comme l'a montré M. Jébrak dans sa conférence, que la notion de « réserve » est essentiellement contrôlée par le paramètre économique. De plus, l'accroissement de la distance entre la zone d'extraction et les zones de transformation et d'utilisation des ressources accentue les inégalités et les tensions à l'échelle planétaire.

L'agriculture intensive, de son côté, a considérablement accru la production mais se trouve dépendante du pétrole. Elle contribue fortement à artificialiser les sols et repose sur l'utilisation de pesticides et d'engrais aux effets dévastateurs sur la biodiversité et la qualité des sols (conférence de C. Parmesan).

Ces deux activités, associées, dans un contexte de croissance démographique, à des besoins croissants d'énergie (pour la transformation de la matière, les transports, le chauffage), affectent non seulement le climat et l'environnement, mais aussi la qualité de l'eau et de l'air (conférences de C. Cassou et M. Sperandio).

Ces déséquilibres planétaires sont par ailleurs sources de conflits, avec pour enjeu, pour les uns de maintenir leur mode de vie, et pour les autres de l'améliorer. Par exemple, le respect des accords de la COP21 à Paris, qui visent une limitation à 1,5°C de la hausse de température, requiert une émission de moins de deux tonnes de CO<sub>2</sub> par an et par habitant. Or le premier 1% de la population, en termes de PIB, en produit 75 tonnes, tandis que la moitié la plus pauvre de la population mondiale en produit moins d'une tonne. Atteindre les objectifs de la COP21 doit donc passer par une réduction drastique de l'empreinte écologique des plus nantis et par une amélioration des conditions de vie du reste de l'humanité (conférence de J. Steinberger). Un monde plus égalitaire sera en effet plus facile à décarboner (Oswald et al. 2021).

Le respect des engagements pris, en tenant compte des limites planétaires et d'obligations sociales et éthiques, requiert l'élaboration, aux différentes échelles, de trajectoires de développement durables, désirables et équitables. Des scénarios de telles trajectoires ont été proposés par différents instituts, associations, gouvernements. On peut citer, en France, la Stratégie Nationale Bas Carbone qui fait suite à la loi de transition énergétique pour une croissance verte, ou les scénarios de l'ADEME et de l'association NegaWATT. Le changement des comportements individuels, qui déterminent le fonctionnement par la consommation, ne contribue que marginalement, selon J. Steinberger, à la diminution de l'impact anthropique. Le changement des modes de vie doit être collectif et systémique. Ainsi, le développement d'infrastructures plus sobres dans les transports, le bâtiment, la consommation et l'alimentation, contribuerait — au prix d'un effort considérable — à réduire de 40 à 70 % l'émission des gaz à effet de serre.

Enfin, les innovations et changements de mode de vie doivent être évalués, pour tenir compte des « effets rebonds » induits par le marché et la croissance économique, non pas en termes économiques uniquement mais à l'aune de leurs impacts environnementaux, climatiques et sociétaux.

### 2.3. Pour une approche de recherche en complexité

Dans l'exploration des réponses à apporter aux questions climatiques et environnementales, le rôle des scientifiques peut se présenter de diverses façons : par la production de connaissances et de savoir-faire, par la représentation et modélisation des phénomènes, ou par des scénarisations prospectives, approches reflétant les pratiques disciplinaires habituelles de l'expert dans sa posture traditionnelle (posture questionnée par B. Bensaude-Vincent dans sa conférence). Il est vrai que l'épistémologie rationaliste, et sa logique méthodologique héritée du cartésianisme, ont fait leurs preuves et restent pertinentes dans de nombreuses situations pour résoudre des problèmes spécifiques. Sa déclinaison positiviste par Auguste Comte, au XIX<sup>e</sup> siècle, a conduit à une hiérarchie des disciplines toujours visible parmi les sciences dites « nobles », des mathématiques à la « physique sociale ou sociologie ». Cette épistémologie entérine donc des approches disciplinaires mais aussi réductionnistes (un phénomène est associé à une seule échelle, paramètre ou équation) ainsi qu'un imaginaire « solutionniste » (un problème est associé à une solution, faiblement couplés aux autres problèmes et solutions). Ce type d'approche montre vite ses limites dans les situations complexes auxquelles se trouvent confrontées nos sociétés. La finesse des enjeux sociaux, environnementaux et économiques ne se capture pas seulement, en effet, avec des équations ou modèles à paramètres. Une ingénierie consciente des enjeux de l'Anthropocène, qui veut modérer ses impacts sociaux et environnementaux et revisiter la notion de progrès, doit aussi repenser le rapport entre nature et culture afin de rééquilibrer les interactions entre humains et non-humains (Descola, 2005 ; conférence de C. Parmesan), et prendre soin de la planète (conférences d'O. Frerot et de D. Bourg).

Les enjeux de l'Anthropocène relèvent de transformations globales, impliquant de décroquer les disciplines en promouvant leur dialogue et accueillant leurs épistémologies différentes. Par son paradigme de la « pensée complexe », Edgar Morin distingue ainsi, d'une part, une complexité restreinte, toujours inscrite dans le paradigme cartésien, et d'autre part une complexité générale relevant d'une approche systémique « en » complexité (LeMoigne, 2009 ; Morin, 2014). La complexité restreinte reconnaît dans un système l'existence d'entités élémentaires, tandis que la complexité générale privilégie l'étude des liens entre ces entités. Émanation des épistémologies constructivistes, cette dernière place le modélisateur et ses intentions au cœur d'un projet et de son processus (LeMoigne, 1995 ; Avenier, 2011). L'approche en complexité privilégie une démarche empirique recherchant une solution satisfaisante qui accepte une certaine part de subjectivité et d'incertitude dans un processus de résolution, et prend en compte l'intérêt de toutes les parties. Fort de ses savoirs et savoir-faire, l'ingénieur y a une place reconnue, mais il n'est qu'une partie parmi d'autres. Il doit co-

construire, en concertation avec les autres parties, des objectifs souhaitables et œuvrer pour que les avancées techniques s'inscrivent dans le respect de choix collectifs de soutenabilité.

## 2.4. Quel dialogue aux interfaces avec la société ?

La sensibilisation des citoyens aux enjeux et transitions nécessaires (sociales, écologiques, économiques et énergétiques) appelle un dialogue essentiel entre chercheurs et citoyens. C'est par ce dialogue que les différentes composantes de la société (dont les institutions qui la structurent, comme l'a détaillé Olivier Frérot dans son intervention) pourront modifier leur fonctionnement. En retour, ce dialogue doit permettre d'interpeller les scientifiques sur leurs façons de travailler. Comme analysé par Bruno Latour, mettre en place et faire vivre ces échanges confronte à la question des "modes de fonctionnement" propres à chaque groupe humain. Pour les scientifiques, qui ont leur propre mode de fonctionnement et de discours, il s'agit de franchir les interfaces entre ce mode et les modes qui structurent la société, qu'ils soient d'ordre économique, agricole, industriel, religieux, politique ou institutionnel. Franchir ces interfaces est un enjeu en soi car chaque groupe possède sa propre logique et son propre langage. Les injonctions de sobriété (questionnement des usages, économie des besoins, bien-être...) ne convaincront qu'au prix de la prise de conscience des limites du mode scientifique.

Dans ce contexte, les réflexions menées au cours des assises ont ouvert les pistes suivantes :

- S'attacher à favoriser le dialogue entre chercheurs et enseignants-chercheurs des différentes disciplines (via des assises, des agoras, des après-midis autour d'un sujet/objet), afin de mieux se connaître et se comprendre, car même au sein du milieu académique les modes de fonctionnement ne sont pas homogènes.
- Ouvrir la possibilité d'intégrer des philosophes dans les laboratoires de sciences et techniques, expérience fructueuse déjà menée par l'université de Paris-Saclay et citée lors de l'atelier 2.1 (O. Frérot).
- S'inspirer d'expérimentations menées à l'étranger, telle celle de l'agence de recherche néerlandaise (équivalente à l'ANR) qui propose d'introduire un pourcentage de participation de la société (groupes citoyens, agoras) dans la construction des appels d'offres. La démarche peut reposer sur des agoras citoyennes, en restant attentifs aux difficultés de dialogue inhérents aux "modes" décrits ci-dessus.
- Faire dialoguer art et science. L'un des ateliers des Assises 2022 (l'atelier 4.7) a illustré l'importance de rencontres et créations co-construites entre scientifiques et artistes, où se révèle l'intérêt de regards croisés. Ces co-constructions font émerger des productions artistiques qui sollicitent les ressentis ou les émotions, et permettent de franchir les "interfaces bloquantes" entre modes, décrites ci-dessus. Ce type d'interaction se révèle souvent bien plus efficace que moult discours ou tribunes visant à toucher le grand public.
- Encourager, lorsque cela est possible, les démarches de sciences participatives ; les expérimentations menées dans ce sens au Museum d'Histoire Naturelle de Paris montrent que ces démarches peuvent largement nourrir les recherches tout en sensibilisant le public. La possibilité de mettre en place ces démarches doit s'inscrire dans un nouveau modèle institutionnel (structure et cadrage politique).
- S'appropriier les démarches épistémologiques et les méthodologies développées par les sciences humaines et sociales (enquêtes, entretiens), afin de collecter des données documentées et objectiver les interfaces avec la société (attentes sociales, interactions sociales).

## 2.5. Que faut-il changer dans l'organisation de la recherche

L'organisation de la recherche publique française, dominée dans sa forme actuelle par des agences de moyens distribuant leurs moyens sur appels à projets, est prescriptrice de l'orientation et du contenu

des recherches, quelle que soit la granularité à laquelle on la considère : organismes de recherche, EPIC, laboratoires, équipes, et individus. Une évolution cohérente à toutes les échelles paraît nécessaire si l'on souhaite développer une recherche en complexité telle qu'elle est apparue nécessaire lors des Assises.

A ce propos, B. Bensaude-Vincent a clairement démontré le caractère contre-productif de la mise en compétition de chercheurs ou d'équipes de chercheurs pour leurs moyens de recherche, compétition qui aboutit à une rétention des informations plutôt qu'à leur partage. Sur la base de cette démonstration, on ne peut que recommander la mise en place de processus de co-construction des projets, entre équipes et avec les promoteurs des programmes de recherche, quel qu'en soit l'objectif (transition socio-environnementale ou autre).

L'impératif de soutenabilité détaillé plus haut implique de faire de la lutte contre la dérive climatique et autres impacts anthropiques, un critère premier dans la structuration à moyen et long termes de la recherche, tant au niveau national (instituts du CNRS par exemple) qu'au niveau local (création d'unités de recherche, propres ou mixtes). Sur ce point, O. Frérot montre bien comment l'ingénieur de demain doit être à l'écoute des exigences et des attentes posées par l'écologue. À l'aune de ce que l'on a entendu des conférenciers ou de ce qui s'est exprimé dans les ateliers, à l'écologue devront s'adjoindre d'autres spécialistes (sociologue, géographe, urbaniste, géologue et climatologue), dans une perspective interdisciplinaire de la définition des objectifs des recherches en ingénierie.

Le fonctionnement des structures de recherche est aujourd'hui largement alimenté par des programmes sur appels à projets programmes régionaux (ex : défis clefs de la région Occitanie, projet TIRIS porté par l'Université fédérale), ou nationaux ou internationaux. Les orientations de ces programmes doivent être mises en ligne avec les critères de structuration de la recherche. Une distinction claire doit être faite entre des programmes de recherche fondamentale et des programmes dont l'objectif premier est la lutte contre la dérive climatique, l'effondrement de la biodiversité ou toute autre enjeu discuté ci-dessus.

Le poids du HCERES dans la marche de la recherche exige que la lecture de l'orientation des structures de recherche (quelle que soit l'échelle) soit revue à l'aune des contraintes imposées par le caractère fini des ressources.

La recherche collaborative avec l'industrie, qui impacte considérablement la recherche en ingénierie, doit également participer de cette évolution. L'outil premier auquel on peut penser est le crédit impôt-recherche (CIR) et sa dévolution, où les critères ci-dessus doivent *ipso facto* être revalorisés.

Un autre point sur lequel une attention forte doit être portée, dans un souci de cohérence globale de l'organisation de la recherche, est l'évaluation des chercheurs, des enseignants-chercheurs et des personnels d'appui à la recherche (PAR). Des orientations de carrière choisies selon des critères liés aux enjeux climatiques ne doivent plus pouvoir pénaliser (ne serait ce que temporairement) les personnels dans leur trajectoire professionnelle.

Ces évolutions dans l'organisation de la recherche ne peuvent se penser sans articulation avec celles, plus générales, de l'Enseignement supérieur (voir section suivante).

Cet ensemble d'impératifs plaide pour la création à échelle nationale et locale (COMUES) de comités d'éthique des transitions socio-environnementales, capables d'émettre des avis opposables, non pas sur la qualité scientifique -- qui doit être évaluée par les conseils scientifiques --, mais sur la pertinence vis-à-vis des objectifs climatique et de soutenabilité écologique.

Les objets visés par ces comités pourraient être :

- les critères de structuration de la recherche (laboratoires, GDR, Fédérations, etc.)
- le libellé des programmes de recherche
- les critères d'évaluation des projets
- les critères d'évaluation des personnels
- les critères d'attribution du CIR.

Ces comités seraient composés de représentants de toutes les disciplines, d'usagers, et de praticiens.

## 2.6. Que faut-il changer dans les formations ?

Les nécessaires évolutions discutées ci-dessus impliquent de repenser les formations scolaires et universitaires, lesquelles sont encore trop imprégnées de visions du « progrès » technoscientifique insoucieuses des enjeux actuels. La réflexion à mener doit porter sur les contenus et les méthodes des formations initiales et continues, et sur leur articulation avec la recherche. Cette réflexion doit associer l'ensemble des personnels impliqués : chercheurs et enseignants, et personnels techniques et administratifs.

Un trait essentiel des questions posées est, comme déjà indiqué, leur caractère pluridisciplinaire. Une solide formation disciplinaire n'en restera pas moins nécessaire pour chaque individu, seule façon de maîtriser les spécificités particulières des questions (mathématique, biologique, sociale, etc.). La transmission des connaissances, la démarche argumentative, la dimension critique, et plus généralement tout l'héritage de l'humanisme moderne devront rester des exigences impératives. Mais d'autres aspects doivent désormais être mieux pris en compte : une redéfinition du « progrès » –en relation avec un questionnement de la notion de technoscience--, un consentement aux incertitudes et à la complexité des questions --complexité qui exige plus d'interdisciplinarité, plus de travail collectif--, un mode humain d'existence comme partie prenante d'un large écosystème. Ces aspects ne peuvent être appréhendés qu'à partir d'une large culture générale, fondée en particulier sur l'histoire des sciences.

Du point de vue de la méthode, on pourra distinguer plusieurs étapes. Il s'agira d'abord d'identifier dans nos enseignements les automatismes hérités d'un scientisme toujours à l'œuvre dans les exemples choisis, les illustrations, ou la manière de présenter le rapport entre théorie et expérimentation, où peut survivre une idée de surplomb de l'homme sur la nature. Il s'agira ensuite d'irriguer les enseignements disciplinaires traditionnels par les nouvelles questions, par le biais de nouveaux enseignements trans/pluridisciplinaires.

Du point de vue pédagogique, il s'agira d'encourager des modes d'enseignement où l'initiative des étudiants pourra être mieux stimulée et valorisée. « Je ne veux pas, dit Montaigne, que [le professeur] invente et parle seul, je veux qu'il écoute parler son disciple à son tour. », Montaigne notant également tout le bénéfice qu'il y a à « frotter et limer notre cervelle contre celle d'autrui ». « Qui est enseigné doit enseigner », renchérit Bachelard, remarquant encore que « pour apprendre aux élèves à inventer, il est bon de leur donner le sentiment qu'ils auraient pu découvrir ».

Du point de vue des publics visés, il est essentiel de prendre également en compte le fait que les étudiants d'aujourd'hui ne seront à des postes décisionnels que dans plusieurs années. Aussi un effort particulier doit être fait pour sensibiliser et former toutes les personnes en position de prendre dès aujourd'hui des décisions politiques, ainsi que les enseignants en activité eux-mêmes. Des programmes dédiés, mettant en œuvre des méthodes pédagogiques spécifiques sont à prévoir dans les catalogues de « formation tout au long de la vie ».

Il s'agira enfin de renforcer la mission essentielle des enseignants et chercheurs, de nourrir le débat public par des conférences et participation à des manifestations telles que la Fête de la science et les

Journées du patrimoine. Les modes de penser et d'agir ne pourront évoluer sans adhésion de la société dans son ensemble.

### 3. Accompagner la trajectoire

Le constat très argumenté que notre biosphère est menacée du fait des activités humaines, est désormais de plus en plus ressenti à travers des crises qui touchent nos modes de vie et fragilisent les accès à des ressources essentielles (eau, alimentation, santé, éducation, équité et justice sociale). Les acteurs de ces changements — citoyens, décideurs — doivent tous se mobiliser, et en particulier les scientifiques du domaine de l'ingénierie dont les réalisations contribuent directement aux changements observés. Un défi sera de rendre désirable les trajectoires proposées, vis-à-vis de la société dans son ensemble.

Dans ce contexte, les Assises 2022 ont permis d'interroger les pratiques actuelles des chercheurs et les évolutions désirables. Le pôle universitaire toulousain représente en effet une communauté importante, à l'échelle nationale, autour des sciences de l'ingénierie (écoles d'ingénieurs, universités, plateformes, industrie), en relation étroite avec la communauté académique élargie aux sciences naturelles, économiques, humaines, sociales, droit, santé, etc. Dans le fil de ces Assises, ce document prospectif esquisse, en complément des documents disponibles sur le site des assises (<http://asri2022-toulouse.fr/fr/index.html>), des pistes pour de nouvelles pratiques, aux différentes échelles structurelles, individuelles et collectives.

Le temps des Assises a révélé l'existence d'initiatives œuvrant en ce sens, mais souvent dispersées et isolées. Le cadre général présenté dans la section 2 doit permettre de structurer ces initiatives et de les amplifier à plus grande échelle, avec des soutiens institutionnels dédiés et affirmés. Ce soutien émerge déjà dans le projet TIRIS<sup>1</sup> dont l'ambition est de répondre à trois enjeux sociétaux : comprendre et favoriser la bonne santé et le bien-être ; comprendre le changement global et son impact sur les sociétés ; accélérer les transitions durables : mobilité, énergie, ressources et mutations industrielles. Les financements associés (80 M€ sur dix ans, moyens constituant des primo-leviers) et la déclinaison opérationnelle de TIRIS (en quatre comités de programme : recherche, formation, innovation, sciences et société) ont pour objectif de construire des appels à projets pluridisciplinaires et inter-sciences répondant aux trois piliers de TIRIS. Ces réponses se veulent intégrées et concertées sur les quatre programmes avec une vision transversale portée à l'échelle d'un comité opérationnel. Bien que déjà présente, la sensibilité aux enjeux planétaires et défis sociétaux des membres des comités de programme, du comité opérationnel et du comité exécutif doit être renforcée. Les évolutions institutionnelles de ces dernières années nous semblent également aller dans la bonne direction. Citons notamment le nouveau schéma régional SRESRI<sup>2</sup> en Occitanie, le laboratoire des transitions, le réseau RAPPSON<sup>3</sup>, le soutien à la Maison des sciences de l'homme et de la société MSH-T, les collectifs Atecopol<sup>4</sup> et Labo1point5, le groupe TTT<sup>5</sup> sur les formations, le projet SEEDS de sensibilisation à la transition écologique des 15000 étudiants toulousains de première année de licence. Ces initiatives, déjà actives ou en cours de déploiement, doivent être amplifiées et déployées à toutes les échelles de façon structurée et structurante.

Le soutien institutionnel doit aussi se réformer dans ses modalités de pilotage, d'évaluation et de gestion des activités de recherche. Des pistes concrètes ont été proposées dans la section 2, à propos

---

<sup>1</sup> Toulouse Initiative for Research's Impact on Society.

<sup>2</sup> Schéma régional de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

<sup>3</sup> Réseau recherches avec, pour, et par la société en Occitanie.

<sup>4</sup> Ateliers d'écologie politique.

<sup>5</sup> Toulouse Tech en Transition.



des appels à projets et de la valorisation des engagements individuels sur ces thématiques, pistes qui pourraient déjà être testées et faire exemple à Toulouse dans le cadre du projet TIRIS.

De façon plus générale, la diversité et la complexité des enjeux doivent inciter les acteurs et actrices scientifiques à renouveler leur réflexion et leurs pratiques, notamment en croisant les compétences disciplinaires, en concertation également avec les structures et associations non universitaires et citoyennes.

Afin d'accompagner les évolutions souhaitées, les signataires de ce document proposeront dans le courant de l'année 2023 des dispositifs d'animation (séminaires, ateliers, etc.) dans les établissements, dans les laboratoires et les formations, afin de mobiliser les personnels et d'engager le dialogue avec des entités non sollicitées lors des *Assises 2022*, notamment les structures de recherche des domaines biologie et santé, les industriels, et les structures de formation. Cette démarche pourra déboucher sur l'organisation en 2024 d'une seconde édition, élargie, des ASRI. L'urgence est là, la volonté aussi. A nous de les faire fructifier.

## Références

Avenier, M.J. 2011 Les paradigmes épistémologiques constructivistes : post-modernisme ou pragmatisme ? *Management & Avenir* 43, 372-391.

Boutaud, A., Gondran, N. 2020 *Les limites planétaires*. La Découverte, coll. Repères écologie.

Descola, P. 2005 *Par-delà nature et culture*. Gallimard.

Exnaturae, 2020 <https://exnaturae.org/tour-dhorizon-des-limites-planetaires/>

GIEC IPCC 2021 Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V. et al. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 3–32, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.

GIEC IPCC 2022a Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner et al. (Eds.)]. Cambridge Univ. Press, 3-33, <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>.

GIEC IPCC 2022b Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, et al. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.001>

IPBES 2019 Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, et al. (Eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>.

Le Moigne, J.L. 1995 *Les Épistémologies constructivistes*. Paris PUF.

Le Moigne, J.L. 2009 L'Intelligence de l'Action appelle l'exercice de la Pensée Complexe. Pragmatique et Épistémique sont inséparables. *Synergies Monde* 6, 23-48.

Morin, E. 2014 *Introduction à la pensée complexe*. Le Seuil, "Points Essais".

Raworth, K. 2017 A Doughnut for the Anthropocene: humanity's compass in the 21st century. *The Lancet Planetary Health* 1(2), e48-e49.

Wang-Erlandsson, L. et al. 2022 Towards a green water planetary boundary. *Nature Reviews Earth & Environment*. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>.

## Annexe : Programme des ASRI 2022

Les Assises de la Recherche en Ingénierie programme de la semaine					
	lundi 4 juillet	mardi 5 juillet	mercredi 6 juillet	jeudi 7 juillet	vendredi 8 juillet
	Cadrage global	Technoscience	Ressources et usages	Ouverture vers le futur	Bilans et perspectives
8h00	Amphi accueil café	Amphi	Amphi	Amphi	Amphi
8h30	Introduction	accueil café	accueil café	accueil café	accueil café
9h00	Christophe Cassou: <b>Changement climatique : un voyage sans retour en territoire inconnu, un défi pour l'humanité</b>	Mathieu Sperandio: <b>Quels enjeux pour la recherche en ingénierie dans la gestion et le traitement de l'eau ?</b>	Michel Jebrak: <b>Ontologie politique et développement minier</b>	Dominique Bourg: <b>Quelles techniques pour faire face aux défis de la transition écologique?</b>	Bilan général des Assises (conférences et ateliers)
10h00	pause	pause	pause	pause	pause
10h15	Camille Parmesan: <b>Solutions au changement climatique: les humains et la nature en tant que systèmes couplés</b>	Bernadette Bensaude-Vincent: <b>Quel rôle pour les experts face aux crises?</b>	Olivier Frerot: <b>Quelle science, quelle technique pour un monde en métamorphose ?</b>	Nicolas Hervé: <b>Former les Ingénieur.e.s pour un monde problématique. Quelques repères pédagogiques</b>	Bilan général des Assises (conférences et ateliers)
11h15	pause	pause	pause	pause	pause
11h30	Philippe Quirion: <b>Des scénarios énergie-climat pour évaluer les futurs possibles. Trois exemples à partir du scénario négawatt</b>	Julia Steinberger: <b>Quand beaucoup moins devient beaucoup plus : la promesse des scénarios de faible demande énergétique.</b>	Lorie Hamelin: <b>Transition durable vers une économie à bas carbone fossile sur le territoire national : rôle de la bioéconomie, enjeux, opportunités et verrous</b>	Julien Lefevre: <b>Trajectoires d'atténuation du changement climatique : quels défis prioritaires pour les Ingénieurs?</b>	Perspectives: quelle suite à donner aux Assises ?
12h45	déjeuner	déjeuner	déjeuner	déjeuner	déjeuner
Programme des ateliers					
14h00	<b>organisation parallèle des ateliers (durée: entre 1h30 et 3h)</b>				
salle GA101	1.1: Perspective historique des formations des ingénieurs en France (C. Roby, A. DeMaria)	2.1: Quelle science, quelle technique, pour un monde en métamorphose ? (O. Frerot)	3.1: Recherche en ingénierie et développement humain équitable (S. Becerra)	4.1: Éthique et enjeux socio-écologiques: comment former les jeunes chercheurs ? (B. Jalenques-Vigouroux et C. Joannis Cassan)	Fin des Assises
salle GA126	1.2: Controverses socio-techniques: étude de cas (A. Bouzin)	2.2: Quelle responsabilité sociale du chercheur en ingénierie ? (J.C. Remigy, A. Bouzin)	3.2: Analyse de cycles de vie: intérêt, limites et perspectives (K. Bertin)	4.2: Former des "ingénieurs-sociologues" (J. Weisbein et C. Maranges)	
salle GA105	1.3: Réchauffement climatique et mobilités : enjeux sociétaux pour la recherche ? (C. Airiau)	2.3: Les outils de la complexité (B. Jouve)	3.3: Économie circulaire, circularité des matériaux et recherche en ingénierie (P. Guiraud et G. Escadeillas)	4.3: Réorienter ou déserrer la recherche en ingénierie ? (O. Lefevre et M. Bruyère)	
salle GA128	1.4: Énergie nucléaire : quelles perspectives ? (M. Quintard)	2.4: Low-tech : Comment les définir ? Quelles pistes pour une recherche scientifique en low-tech ? (J. Carrey, G. Carbou, S. Lachaize)	3.4: Économie écologique et bioéconomie (L. Hamelin et G. Plumecoq)	4.4: Réussir la transition énergétique des territoires : enjeux, outils et défis (B. Hermant)	
salle GA133	1.5: Interdisciplinarité en recherche : exemple du domaine de l'eau en Occitanie (C. Albasi, O. Barreteau)	2.5: Trois visions de l'informatique éco-responsable (lowtech, green for IT, IT for green) (M. Madon et L. Vieu)	3.5: Méthanisation, méthanation... et si le CO2 était enfin le bienvenu? (G. Hébrard)	4.5: Vers une informatique "sobre": réflexions sur nos "besoins essentiels" numériques (M. Madon)	
salle GA111	1.6: Environnement et sécurité : quelles synergies pour aborder des enjeux sociétaux en ingénierie ? (C. Bieder et al.)	2.6: Les systèmes informatiques et la démocratie dans le fonctionnement des organisations (E. Fleux et al.)	3.6: Jeu "2 tonnes" (C. Giraudat)	4.6: Rendre soutenables les communications numériques en milieu professionnel (C. Datchary)	
salle GA114	1.7: Interroger les représentations de l'aéronautique toulousaine (N. Spanghero-Gaillard et al.)	2.7: Fresque du climat (M. Munoz)	3.7: Fresque de l'adaptation au changement climatique en Occitanie (J. Fabre)	4.7: Interroger la notion de progrès (E. Armand)	
salle GA142	1.8: Fresque du climat (M. Munoz)	2.8: Fresque de l'adaptation au changement climatique en Occitanie (J. Fabre)		4.8: Jeu "2 tonnes" (C. Giraudat)	
17h00	Fin de la journée	Fin de la journée	Fin de la journée	Fin de la journée	