COMETS

Comité d'éthique du CNRS

AVIS n°2025-47

« MANIPULER LES VIRUS, MANIPULER LE CLIMAT ? COMMENT JUGER DE CE QUI EST RESPONSABLE EN RECHERCHE ? »

Approbation le 10 juin 2025

MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL :

Philippe ASKENAZY
Etienne BUSTARRET
Alain CLAEYS
Virginie COURTIER-ORGOGOZO
Magali JACQUIER
Olivier LECLERC

Rapporteurs
Christine NOIVILLE
Patrice DEBRE
Eric GUILYARDI

RESUME

Dans cet avis, le COMETS s'interroge sur la responsabilité des scientifiques face à des recherches qui présentent un potentiel de risques collectifs élevés pour les populations et/ou pour l'environnement. Cette question récurrente d'éthique de la recherche se pose aujourd'hui avec une acuité particulière, sous l'effet de plusieurs facteurs : la puissance et l'accessibilité croissantes de technologies susceptibles de provoquer des dommages à grande échelle, graves voire irréversibles ; le contexte de crise environnementale et sanitaire, qui peut pousser certains à placer dans la recherche scientifique des espoirs parfois démesurés et favoriser la prise de risques sans cadre partagé ; le contexte dans lequel évolue la recherche elle-même, marquée par une compétitivité croissante entre équipes et entre Etats, et par la valorisation de recherches à haut risque et à fort potentiel de gain ("*High Risk, High gain*").

Deux domaines en particulier, qui donnent actuellement lieu à de vives controverses dans la communauté scientifique, ont été choisis par le COMETS pour appuyer sa réflexion. D'une part, la manipulation d'agents pathogènes à potentiel pandémique, plus particulièrement **les expériences dites de « gain de fonction » (ou de « perte de fonction »)**, qui aboutissent à rendre des virus ou des bactéries plus pathogènes, transmissibles ou virulents, avec comme objectifs de mieux comprendre comment ils peuvent infecter les humains, trouver de nouveaux traitements thérapeutiques et se préparer à d'éventuelles épidémies. D'autre part, la géo-ingénierie solaire, ensemble de techniques développées par divers acteurs, notamment privés, présentées comme un outil pour atténuer les effets du changement climatique et par ailleurs soutenues par certains Etats et certains scientifiques. **La modification du rayonnement solaire (MRS)** est aujourd'hui l'une des techniques les plus débattues, sur laquelle cet avis se focalise. Elle consiste à injecter du dioxyde de soufre dans la stratosphère pour renvoyer vers l'espace une partie des rayonnements du soleil.

Tout distingue de prime abord ces deux domaines. Les disciplines scientifiques concernées, virologie et climatologie, ne sont pas les mêmes. Les objets considérés sont d'échelle différente : des organismes microscopiques développés comme modèles de laboratoire d'une part, des techniques visant à modifier un phénomène naturel de grande ampleur de l'autre. Enfin, leur degré de maturité diffère, la manipulation d'agents pathogènes étant, contrairement à la géo-ingénierie solaire, une réalité ancienne ayant depuis longtemps suscité nombre de réflexions sur la sécurité et la sûreté des expérimentations.

Ces deux champs posent pourtant, chacun à sa façon, la question de la responsabilité de la recherche scientifique lorsque des risques collectifs élevés lui sont associés, que ce soit par ses modalités ou par ses finalités. La pratique des gains de fonction, que stimulent des techniques puissantes et plus facilement accessibles comme la biologie de synthèse, décuplerait ainsi les risques liés à l'échappement d'agents hautement pathogènes à potentiel pandémique mondial. Quant à la modification du rayonnement solaire, elle pourrait entraîner une déstabilisation du climat, des écosystèmes et du cycle de l'eau -, voire un effet rebond du réchauffement en cas d'arrêt des injections. Dans un cas comme dans l'autre, de potentielles utilisations stratégiques ou malveillantes sont par ailleurs redoutées (bioterrorisme, interventions climatiques à des fins géopolitiques…).

D'où les vifs débats, au sein de la communauté scientifique, quant à l'opportunité de conduire ou d'entreprendre des recherches dans ces domaines. Est-il responsable d'exposer les populations et l'environnement aux risques graves et potentiellement irréversibles directement ou indirectement liés à de telles recherches ? Est-ce au contraire la responsabilité des scientifiques de répondre aux enjeux majeurs de notre époque que sont la lutte contre le changement climatique, l'érosion de la biodiversité,

ou la prévention des épidémies, y compris en empruntant ou en confortant des voies ou des méthodes à risques ? Si oui, selon quelles modalités ? C'est à cette interrogation qu'a choisi de réfléchir le COMETS. La décision de la direction du CNRS de transformer cette autosaisine en saisine atteste de l'importance de la question pour l'ensemble de la recherche scientifique.

<u>Dans son avis, le COMETS délivre trois grands messages</u> qui, au-delà des deux domaines qu'il prend comme exemple, ont vocation à s'appliquer à toute recherche présentant directement ou indirectement des risques collectifs élevés.

- **<u>Premièrement</u>, le COMETS recommande que les questions posées soient instruites scientifiquement, dans le cadre d'une démarche collective coordonnée visant à établir un état des lieux objectif des questions posées et des connaissances existantes et manquantes.**

Dans cette logique, le COMETS insiste notamment sur la nécessité de systématiser les évaluations des risques et des bénéfices pour la société, conformément à son avis n° 43 qui rappelle que l'existence de risques ne représente pas un empêchement *de principe* au fait de conduire une recherche à condition que la prise de risque soit mesurée et maîtrisée et qu'un bénéfice plus grand soit escompté et documenté.
Une telle instruction collective et coordonnée constitue une responsabilité des scientifiques et des institutions de recherche, pour clarifier le champ des connaissances et des incertitudes, nourrir un débat public de qualité, éclairer les décisions publiques et alerter si besoin. Même si elle n'a qu'une influence limitée sur les forces économiques, sociales ou politiques qui peuvent pousser en faveur ou en défaveur de recherches présentant des risques, elle doit aider à éviter que les decisions collectives ne fassent le jeu d'intérêts sectoriels, qu'ils soient de type académico-scientifique, politique ou financier.

- **<u>Deuxièmement</u>, le COMETS recommande que cette instruction soit multidisciplinaire de façon à investiguer l'ensemble des questions en jeu.**

Quel que soit le sujet considéré (biologie, génétique, sciences du climat…), les questions qui se posent ne sont pas uniquement d'ordre scientifique et technique, au sens des sciences physiques et environnementales. Elles sont aussi politiques, sociales et éthiques, impliquant alors nécessairement et dès le départ les sciences humaines et sociales.

- **<u>Troisièmement</u>, tout domaine de recherche présentant des risques collectifs élevés appelle des règles particulières en termes de gouvernance de la recherche, d'autant plus indispensables lorsque les risques sont à grande échelle et font l'objet de controverses.**

Le COMETS vise ici notamment :

- ✓ le respect, par les scientifiques, des obligations éthiques et déontologiques qui leur incombent ; l'intégrité scientifique, la déclaration par les chercheurs de leurs liens d'intérêts, la transparence des financements de leurs recherches doivent être particulièrement scrupuleux s'agissant de recherches à risques controversées et encore plus lorsqu'elles sont sous-tendues par de puissantes forces économiques et politiques ; c'est une condition nécessaire pour que la recherche soit perçue comme impartiale et digne de confiance.
- ✓ la nécessité de doter ces recherches de dispositifs d'accompagnement : évaluations régulières, suivi, retours d'expériences à des jalons réguliers, « portes de sortie » permettant de stopper des projets de recherche jugés à trop grands risques ;

une gouvernance responsable implique que le passage d'une phase de recherche à la suivante ne soit opéré qu'à l'issue d'une décision collective documentée et réfléchie ;

- ✓ la coopération scientifique aux plans national et supranational, pour mettre en place autant que possible, face à des risques mondiaux : - des pratiques et normes harmonisées d'évaluation et de gestion des risques ; – un partage des données ; - un système de veille des expériences en cours. Certes actuellement mise à mal dans certains domaines, la coopération scientifique est d'autant plus capitale dans un contexte géopolitique fragmenté où l'adoption d'accords multilatéraux est devenue un horizon difficile à atteindre ;
- ✓ le renforcement et la structuration d'espaces d'échanges entre scientifiques, décideurs et société civile, dans lesquels l'état des connaissances scientifiques et des projets de recherche peut être exposé, les préoccupations des décideurs et de la société entendues, les priorités de recherche discutées au regard de l'acceptabilité des risques en jeu.

S'agissant des deux cas qu'il prend comme exemple, ces recommandations générales conduisent le COMETS à formuler les observations suivantes.

- ➢ **<u>Pour les expériences de biologie susceptibles de présenter des risques élevés telles que les expériences de gain (ou perte) de fonction</u> :**

  - ✓ **Le COMETS** observe que le CNRS constitue en ce moment-même un comité chargé d'évaluer au cas par cas les risques et les bénéfices de tout projet de ce type mené en son sein, d'en assurer le suivi et le réexamen à des jalons réguliers, de sorte qu'il soit à tout moment possible de stopper l'expérimentation si besoin ; le COMETS **considère que la mise en place d'un tel comité constitue une démarche responsable d'instruction collégiale des projets**. Il appelle le CNRS à la vigilance quant aux points suivants :

  - ✓ la nécessité d'une politique volontariste de la part de la direction pour sensibiliser les personnels de recherche aux enjeux du dispositif et pour en assurer le respect ;
  - ✓ l'ouverture de ce dispositif expert à une dimension éthique, juridique et sociétale, comme en matière de recherche biomédicale, pour éviter l'entre-soi et garantir une complémentarité des points de vue ;
  - ✓ le lien avec les organismes financeurs, qui doivent non seulement s'assurer que les projets qui leur sont soumis feront l'objet d'un suivi mais aussi stopper les financements si le comité de suivi préconise l'arrêt du projet ;
  - ✓ une collaboration étroite entre le CNRS et les autres institutions de recherche afin d'assurer une veille commune et des échanges continus ;
  - ✓ la nécessité de poursuivre les démarches pour que, dans le cadre d'une institution internationale comme l'OMS, les scientifiques définissent un socle commun d'évaluation et de gestion des risques au regard des connaissances acquises.

- ➢ **<u>Concernant la modification du rayonnement solaire</u>, le COMETS considère que :**

- ✓ dans ce domaine désormais investi par divers Etats et acteurs privés désireux de multiplier les expérimentations dans un avenir proche voire les déploiements à plus lointaine échéance, **la recherche publique a un rôle capital à jouer**. Son rôle est d'objectiver les questions en jeu sur la base de données scientifiques fiables et impartiales, d'éclairer correctement le public et les décideurs, d'éviter que les

connaissances produites le soient essentiellement par des acteurs qui auraient intérêt à mettre en avant des données qui leur seraient favorables.

- ✓ Le COMETS estime fragile l'argument selon lequel, face à « l'urgence climatique », il n'y aurait pas de temps à perdre pour développer et déployer la géo-ingénierie solaire ; **l'échelle temporelle propre au changement climatique ne lui semble pas empêcher de prendre le temps nécessaire pour objectiver les importantes questions en jeu**.
- ✓ Ces recherches devraient :
    - être entreprises **en complément - et non au détriment - des recherches sur les voies conventionnelles** de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre ou de captation du carbone, qui devraient rester la priorité ;
    - **rester théorique**s (en laboratoire) et non viser à prototyper les techniques de géo-ingénierie solaire ou chercher à en accompagner le développement ;
    - avoir pour objet : la **détection** et la **surveillance des essais et éventuels déploiements** dans le monde ; **l'évaluation des impacts de la MRS – risques et bénéfices – pour l'environnement et la société** ;
    - pour une compréhension de l'ensemble des enjeux, être ancrées dans une **approche multidisciplinaire** et un dialogue continu entre sciences physiques et environnementales et sciences humaines et sociales. Les questions cruciales concernent en particulier l'information et l'acceptabilité des populations, les enjeux géostratégiques et militaires, ainsi que les dispositifs juridiques de nature à assurer l'utilisation de la MRS dans un cadre international organisé et partagé. Puisqu'un déploiement régional, même à petite échelle, est susceptible d'affecter le climat d'autres régions, puisqu'aucune norme contraignante de droit international ne vise actuellement ces situations et qu'un accord mondial entre les Etats semble peu envisageable dans le contexte géopolitique actuel, des règles devraient être pensées qui permettraient une gestion équitable et juste de la MRS au plan international (transparence ; consentement des Etats et populations, notamment les moins favorisés et les plus susceptibles d'être exposés à des impacts négatifs ; responsabilités en cas de dommages).

- ✓ Parce qu'elle vise précisément ces objectifs, le COMETS accueille favorablement la **mission qui vient d'être créée au sein de l'agence de programme « Climat, biodiversité et sociétés durables » (CBSD) coordonnée par le CNRS**. Il insiste sur l'importance que les recherches engagées au nom de cette mission :
    - soient autant que possible **coordonnées avec celles des autres Etats** ;
    - respectent des **règles strictes de transparence** (des financements et des résultats) et d'indépendance de façon à être perçue comme digne de confiance ;
    - fassent l'objet de **larges discussions, non seulement avec les décideurs et les parties prenantes (entreprises, associations…) mais aussi avec la société civile** qui doit pouvoir exprimer ses interrogations et ses attentes, et avoir son mot à dire sur les orientations de la recherche à privilégier en conséquence.

SOMMMAIRE

RESUME 2

SOMMMAIRE 6

AVIS 7

I) Gain de fonction, modification du rayonnement solaire, des recherches responsables ? 8

A. Deux domaines présentant des risques à grande échelle 9
B. Un positionnement de la recherche âprement discuté 12

II) UN CADRE POUR APPRECIER LE CARACTERE RESPONSABLE DES RECHERCHES PRESENTANT DES RISQUES COLLECTIFS ELEVES 16

A. Une instruction scientifique coordonnée 16

B. Une instruction multidisciplinaire des risques et des bénéfices pour la société 19
1. Une interface entre sciences physiques et de la nature, sciences humaines et sociales et éthique 19
2. Une analyse des bénéfices et des risques pour la société 20
   a. *Un exercice difficile mais nécessaire* 20
   b. *Une grille d'analyse* 21

C. Des dispositifs solides de gouvernance de la recherche 24
1. Respecter un cadre éthique et déontologique rigoureux 24
2. Conforter ou instituer des dispositifs d'accompagnement des recherches 25
3. Renforcer la coopération scientifique aux plans européen et international 25
4. Structurer des espaces d'échange entre la recherche, les décideurs et la société civile 26

SAISINE 27

LISTE DES ACRONYMES 28

PERSONNALITES AUDITIONNEES OU CONSULTEES 29

AVIS

La responsabilité des chercheurs et chercheuses est une question récurrente d'éthique de la recherche, qu'elle soit pensée au regard de la liberté ou de la dignité humaines (clonage humain, intelligence artificielle), du bien-être animal (expérimentation animale), de la protection de l'environnement (OGM, édition du génome des plantes ou des animaux) ou encore du coût économique pour la collectivité (recherches spatiales, agrandissement de l'anneau collisionneur du CERN).

Le présent avis s'interroge sur la responsabilité des chercheurs lorsque leurs recherches sont susceptibles de créer des dommages collectifs à grande échelle pour l'environnement ou la santé. La question se **pose en effet aujourd'hui avec une acuité particulière sous l'effet de plusieurs facteurs** : la puissance de technologies accessibles aux chercheurs et présentant un potentiel de risques graves voire irréversibles du point de vue mondial[1] ; le contexte de crise environnementale et sanitaire, qui peut pousser certains à placer dans la recherche scientifique des espoirs parfois démesurés et favoriser la prise de risques[2], y compris lorsque ceux-ci sont susceptibles d'avoir des effets d'échelle inédits et potentiellement irréversibles ; le contexte dans lequel évolue la recherche elle-même, marquée par une compétitivité croissante entre équipes et entre Etats, par la valorisation de recherches à haut risque et à fort potentiel de gain ("*High Risk, High gain*"), par la multiplication d'offres de financements privés qui peuvent inciter certains chercheurs à emprunter une telle direction sans cadre éthique partagé.

Deux domaines sont caractéristiques à ces différents égards : d'une part, les expériences de manipulation d'agents pathogènes (virus ou bactéries) à potentiel pandémique, et notamment les expériences dites de « gain de fonction » (ou de « perte de fonction ») appliquées à de tels agents[3] ; d'autre part la recherche en géo-ingénierie du climat, plus précisément la modification du rayonnement solaire sur laquelle le présent avis se focalise. Ces deux domaines ont en commun de présenter des risques collectifs sanitaires et/ou environnementaux à grande échelle, de mettre en jeu des techniques

[1] Le risque est un danger éventuel plus ou moins prévisible, l'éventualité d'un événement qui peut causer un dommage. Sur la nécessité particulièrement pressante, dans ce contexte, de « mesures d'anticipation scientifique » au plan international, voir S. Besson *(Cours de droit international de la Science*, Collège de France, 22 févier – 28 mars 2024), qui entend par « mesures d'anticipation scientifique » des mesures visant aussi bien à prévenir ou atténuer les potentiels méfaits de recherches scientifiques à potentiel de préjudice grave et irréversible qu'à promouvoir leurs bienfaits potentiels (mesures prises au titre des principes de précaution et de prévention, mesures de prévision ou de prudence visant à devancer tant les bienfaits que les méfaits potentiels des recherches scientifiques, (réglementations, moratoires, interdiction de certaines recherches scientifiques (https://www.college-de-france.fr/fr/agenda/cours/le-droit-international-de-la-science/anticipation-scientifique-ou-science-de-anticipation).

[2] Selon le baromètre Ipsos 2024 sur la science et la société, même si certaines innovations scientifiques peuvent présenter des risques, les Français souhaitent dans leur grande majorité qu'on les développe pour leurs effets bénéfiques, tout en doutant de la capacité de la science et de la technologie à améliorer la qualité de l'environnement et de la santé.

[3] Comme l'ont indiqué au COMETS certains des scientifiques auditionnés, le terme « gain de fonction » est souvent utilisé de manière peu nuancée et de nombreuses définitions existent. Dans ce sens, voir la Société allemande de virologie (GfV), « Sicherheitsrelevante Forschung in der Virologie » (« Recherche pertinente pour la sécurité en virologie »), 13 mars 2025 (https://g-f-v.org/wp-content/uploads/2025/03/GoF-in-der-virologischen-Forschung_final_20250313.pdf"),qui souligne que le terme donne l'impression erronée que cette méthode est nouvelle et qu'elle est principalement utilisée de manière ciblée et intentionnelle par les chercheurs pour augmenter la pathogénicité ou la transmissibilité d'agents pathogènes. D'une part, l'utilisation de méthodes de « gain de fonction » sur les virus n'entraîne pas toujours d'augmentation de la pathogénicité. Inversement, certaines méthodes de « gain de fonction » n'ont pas pour objectif de rendre le virus plus pathogène mais ont involontairement cet effet.

expérimentales relativement accessibles alors que leur utilisation peut être « duale »[4], et d'être âprement discutés dans les communautés scientifiques s'agissant de leur responsabilité en la matière (I). En s'appuyant sur ces deux exemples[5], le COMETS propose un cadre qui, du point de vue éthique et en accord avec la notion de recherche et innovation responsables[6], lui semble nécessaire à mettre en œuvre lorsqu'une recherche, par ses modalités ou par ses finalités, peut être directement ou indirectement source de risques élevés pour l'environnement ou la santé des populations (II).

I) GAIN DE FONCTION, MODIFICATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE, DES RECHERCHES RESPONSABLES ?

De prime abord, ces deux domaines diffèrent en tous points.

D'abord sur le plan scientifique. Les manipulations d'agents pathogènes à potentiel pandémique relèvent du domaine de la virologie et de la bactériologie et consistent à modifier le génome de virus ou de bactéries en laboratoire. Parmi ces manipulations, les plus sujettes à discussion, appelées « gain de fonction », visent à rendre des agents pathogènes plus pathogènes, plus infectieux ou plus proliférants. L'objectif est de mieux comprendre comment ils se transmettent d'une espèce à une autre et de proposer ainsi les défenses les plus appropriées, par exemple le développement de vaccins ou de molécules thérapeutiques. Diverses équipes de recherche dans le monde manipulent ainsi les génomes de pathogènes tels que la grippe aviaire H5N1 ou les coronavirus (SARS/MERS), en les soumettant à diverses pressions de sélection, afin d'étudier la transmissibilité de ces virus chez des mammifères qui normalement ne sont pas sujets à ces infections. Certaines expériences visent par exemple à créer des combinaisons nouvelles, en insérant des facteurs de virulence ou en combinant différentes souches virales, afin d'évaluer les possibilités d'émergence de nouveaux virus pandémiques. D'autres recréent par voie synthétique des virus disparus comme celui de la grippe espagnole, dans le but de comprendre les bases moléculaires de leur virulence.

La géo-ingénierie relève, quant à elle, du domaine des sciences du climat. Ce terme générique recouvre un ensemble de techniques très diverses qui se distinguent des approches classiques de lutte contre les émissions de carbone ou de retrait du carbone (réduction des émissions, reforestation, renforcement des puits naturels de carbone, élimination du CO_2 atmosphérique avec stockage à long terme, etc.)[7]. Elle vise en effet à modifier délibérément le climat en refroidissant artificiellement la planète pour

[4] On parle de « recherches duales à risque » (*dual-use research of concern*) à propos de recherches qui ont des objectifs légitimes mais qui peuvent présenter non seulement des risques pour la santé ou l'environnement, mais aussi pour la sécurité et la sûreté publiques (détournement à des fins malveillantes et autres mésusages). Sur la diversité des terminologies (recherche duale, recherche duale préoccupante, recherche sur le gain de fonction…), voir : OMS, *Cadre d'orientation mondial pour l'usage responsable des sciences de la vie - Atténuer les risques biologiques et régir la recherche duale*, 13 décembre 2022 (https://www.who.int/fr/publications/i/item/9789240056107"), pp. xxiii et s.

[5] Bien d'autres exemples auraient pu être mobilisés – OGM, bactéries miroirs, recherche nucléaire, etc.

[6] Présente dans les programmes cadres de recherche et d'innovation européens, la notion de recherche et d'innovation responsables (RRI) signifie que les chercheurs doivent s'assurer que leurs travaux sont en adéquation avec les besoins, les intérêts et les valeurs de la société ; voir R. von Schomberg (ed.), *Towards Responsible Research and Innovation in the Information and Communication Technologies and Security Technologies Fields*, Ethics and gender unit, DGRI, Commission européenne, 2011 ; S. Randles, E. Tancoigne, P.- B. Joly, « Two tribes or more? The historical emergence of discourse coalitions of responsible research and innovation (rri) and Responsible Research and Innovation (RRI)", *Journal of Responsible Innovation, volume 9*, 2022.

[7] Sur l'intérêt qu'il y aurait à ne pas englober la diversité des techniques sous le même terme de géo-ingénierie, voir X. Landes, *La géo-ingénierie*, Que Sais-Je, PUF, 2024.

contrebalancer le réchauffement dû aux émissions de gaz à effet de serre et atténuer le changement climatique global[8]. Il peut s'agir par exemple de fertiliser les océans en y injectant du fer pour augmenter la quantité de phytoplancton et « activer la pompe biologique », de blanchir des nuages en les aspergeant de sel marin pour qu'ils réfléchissent les rayons solaires vers l'espace, d'épaissir la banquise en y cultivant la neige, d'installer des réflecteurs spatiaux pour renvoyer vers l'espace une partie du rayonnement solaire ou encore d'injecter à cette même fin du dioxyde de soufre dans la stratosphère[9]. C'est cette dernière technique, dite « modification du rayonnement solaire » (MRS), qui est aujourd'hui une des plus débattues et soulève l'essentiel des questions éthiques.

Différents en raison des disciplines scientifiques dont ils relèvent, ces deux champs le sont également par leurs objets : alors que le premier porte sur des éléments potentiellement dangereux mais microscopiques et manipulés en laboratoire comme modèles, le second a trait à des techniques visant à agir sur l'environnement lui-même, en modifiant des phénomènes naturels de grande ampleur. Par ailleurs, **le degré de maturité** des deux domaines n'est pas le même. Les réflexions sur la géo-ingénierie solaire sont récentes[10], tandis que la recherche sur les pathogènes est ancienne et a de longue date donné lieu à des interrogations sur la sécurité des expérimentations et à des mesures de gestion des risques[11].

C'est toutefois tout l'intérêt des deux exemples choisis par le COMETS que de poser en des termes distincts cette même question de la responsabilité des scientifiques (2) lorsque, par ses modalités ou ses finalités, la recherche est susceptible d'exposer directement ou indirectement les populations ou l'environnement à des risques élevés (1).

A. Deux domaines présentant des risques à grande échelle

Dans les deux cas, les risques d'impacts environnementaux et sanitaires présentent des effets d'échelle inédits (dommages très graves affectant la collectivité tout entière, c'est-à-dire la société humaine et l'écosystème planétaire) et potentiellement irréversibles. Un virus pathogène échappé ne connait pas de frontières, n'est pas rattrapable et peut donc avoir des répercussions mondiales. Ce phénomène est connu mais il se présente sous un jour nouveau[12]. Les manipulations sont en effet devenues plus fréquentes et plus « efficaces » avec le développement de diverses biotechnologies qui permettent

[8] Voir UK's Royal Society, *Geo-engineering the climate: science, governance and uncertainty*, 2009 et GIEC, IPCC Special Report, *Global Warming of 1.5°C*, 10 octobre 2018, 2018 (www.ipcc.ch/sr15).

[9] Le dioxyde de soufre (SO_2) est un gaz qui, sous l'effet de la chimie particulière de la stratosphère, se transforme en particules d'acide sulfurique. Comme dans le cas d'une éruption volcanique majeure, les particules injectées servent en quelque sorte de « bouclier solaire ». Sur les différentes techniques de géo-ingénierie, voir Scientifc Advice Mechanism (SAM), *SAPEA (Science Advice for Policy by European Academies), Evidence review report on SRM*, décembre 2024.

[10] Toutefois, pour une approche et des références « historiques » des recherches en ingénierie climatique, notamment comme « arme » pendant la guerre froide, voir A. Dahan, « Gouverner la recherche en géoingénierie et/ou gouverner le déploiement des techniques : comment définir des limites ? », intervention au colloque « *Sciences à « très grande échelle ». Tout est-il permis ? Tout est-il bénéfique ? La dynamique d'une recherche peut-elle nous échapper ? », ENS,* 8 et 9 janvier 2014 ; C. Hamilton, *Les Apprentis sorciers du climat. Raisons et déraisons de la géo-ingénierie*, Seuil, 2013.

[11] Le champ est investi depuis longtemps. Voir sur ce point P. Berche, « The dangerous biology of pathogenic germs », *Comptes rendus Biologie, Académie des sciences, Volume 347*, septembre 2024 ; B. Latour, *Les microbes : Guerre et paix*, Editions A-M Métailié, 1984 (réédité sous le titre *Pasteur : Guerre et paix des microbes*, La Découverte, 2001).

[12] Voir H. Korn, P. Berche et P. Binder, *Les menaces biologiques ; biosécurité et responsabilité des scientifiques*, rapport pour le Conseil national consultatif pour la biosécurité (CNCB), co-piloté par le secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale (SGDSN) et l'Académie des sciences, 2008 ; voir également H. Korn et P. Binder, *Recherches duales à risque : recommandations pour leur prise en compte dans les processus de conduite de recherche en biologie,* CNCB, séminaire du 29 octobre 2024.

d'induire facilement et rapidement des mutations, de créer des virus chimériques, de les synthétiser *de novo*, ou bien de faire des passages répétés dans des systèmes cellulaires ou *via* des animaux sauvages ou humanisés, afin que les virus s'adaptent progressivement à un nouvel hôte. La pandémie de Covid-19 a,elle aussi, accéléré le mouvement et renforcé dans le même temps les inquiétudes que suscitent les risques liés aux expériences de gains de fonction[13]. D'un côté, elle a conduit à faire de la « préparation pandémique » un thème de recherche très porteur[14] ; de l'autre, parce que la crise pourrait résulter d'un possible accident de laboratoire, elle a remis en lumière les risques liés à ce type d'expériences dans la mesure où de nombreux accidents sont documentés, même dans des installations sécurisées[15].

Quant à la modification du rayonnement solaire, des risques également élevés et à grande échelle sont évoqués. Une injection dans une région (par exemple en Californie) pourrait ainsi modifier le climat et les régimes de précipitations dans d'autres régions même éloignées (par exemple dans un pays tropical), engendrant, par exemple, un changement abrupt du régime des pluies ou des vents, une période de sécheresse…. Au cas où l'on arrêterait les injections, la MRS pourrait même aboutir à un rebond brutal du réchauffement climatique, dit « choc de terminaison », « choc d'interruption » ou « effet rebond », sans que les populations ou les écosystèmes n'aient le temps de s'adapter[16].

A cela s'ajoute le fait que, pour les expériences de gains de fonction comme pour la géo-ingénierie, les risques sont à prendre d'autant plus au sérieux que des utilisations stratégiques voire malveillantes sont possibles : détournement d'agents pathogènes à des fins bioterroristes ou militaires[17] ; contrôle du climat pour servir des intérêts politico-stratégiques ou menacer de provoquer le « choc de terminaison »[18].

---

[13] La discussion sur les risques s'est amplifiée à partir des années 1990 avec la multiplication des menaces bioterroristes, puis avec le développement de capacités techniques nouvelles en biologie de synthèse, génétique inverse, édition des acides nucléiques par le recours à CRISPR-Cas9, etc. Quant aux expériences effectuées sur les coronavirus peu avant la pandémie du Covid 19, elles ont radicalisé le débat. Voir E. Sallard, J. Halloy, D. Casane, E. Decroly, J. Van Helden**,** « Tracing the origins of SARS-CoV-2 in coronavirus phylogenies: a review »**,** *Environmental Chemistry Letters* 19 (2), 769-785, 2021 ; Académie nationale de médecine, *De l'origine du SARS-CoV-2 à la virologie/biologie dangereuse*, séance du 18 avril 2023 ; P. Berche, « Gain-of-function and origin of Covid19 », *Presse Med, Jun 2;52(1):104167*, 2023.

[14] Voir par exemple aux Etats-Unis l'important financement de ces recherches par les NIH jusqu'à l'annonce récente de l'administration Trump de réglementer plus rigoureusement les expériences de gain de fonction (https://www.wsj.com/health/trump-administration-seeks-to-stop-virus-research-republicans-have-blamed-for-covid-19-pandemic-337cec1b?st=5QcCCY&reflink=desktopwebshare_permalink). En France, on constaterait une augmentation des manipulations d'agents pathogènes ainsi qu'une multiplication des laboratoires P3 et P4, ce qui indiquerait un renforcement de la prise de conscience des risques mais aussi une multiplication des expériences à risques.

[15] A. Nafees et autres, «Surveillance of laboratory exposures to human pathogens and toxins », *Laboratory Incident Notification Canada*, janvier 2025, https://www.canada.ca/en/public-health/services/reports-publications/canada-communicable-disease-report-ccdr/monthly-issue/2025-51/issue-1-january-2025/surveillance-laboratory-exposures-human-pathogens-toxins-2023.html

[16] Sur ces aspects, voir entre autres : UK's Royal Society, *Geo-engineering the climate: science, governance and uncertainty*, précité ; principes d'Oxford, rédigés en 2009 par un groupe d'universitaires et approuvés par le gouvernement britannique (revus en 2013) ; Conférence d'Asilomar sur les techniques d'intervention climatique, 2010 ; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Reflecting Sunlight : Recommendations for Solar Geoengineering Research and Research Governance,* 2021 ; PNUE, *One Atmosphere: An Independent Expert Review on Solar Radiation Modification Research and Deployment,* 2023 ; GIEC, *Rapport de synthèse du sixième cycle d'évaluation* (AR6, Synthesis Report: Climate Change), 2023 **;** SAM/*Group of Chief Scientific Advisors* du *Scientific* (GSCA)**,** avis n° 17, *Solar Radiation Modification*, décembre 2024, et rapport précité du SAM/SAPEA, *Evidence review report on SRM*, 2024.

[17] Voir H. Korn et al., *Recherches duales à risque, Recommandations pour leur prise en compte dans les processus de conduite de recherche en biologie*, Académie des Sciences, 2019.

[18] Voir S. Kabbej et M. de Guglielmo Weber, *Géo-ingénierie solaire : enjeux stratégiques et de défense*, Observatoire défense et climat, coordonné par la direction générale des relations internationales et de la stratégie (DGRIS) du

A ce stade, il n'existe pas de règles juridiques solides au plan international qui soient de nature à prévenir ces différents risques. Par exemple, en ce qui concerne les gains de fonction, la recherche répond à des normes de biosécurité très hétérogènes, ce qui laisse aux institutions et aux scientifiques une grande marge d'interprétation concernant l'opportunité et les modalités de travaux impliquant des agents pathogènes susceptibles d'être pandémiques[19]. De même, dans le cas de la MRS, aucun mécanisme multilatéral ne permet d'éviter que des expériences dangereuses soient réalisées de manière unilatérale et incontrôlée, de garantir une juste répartition des risques entre les Etats et les populations et, plus généralement, de prévenir les conflits entre les Etats qui déploieraient ces technologies et ceux qui en subiraient les conséquences[20]. Dans le contexte géopolitique actuel, très fracturé, il y a peu de perspectives que soit mis en place un tel cadre[21]. Le fait que la science ou notre environnement planétaire soient parfois considérés comme un « bien public international» ou un « bien commun mondial »[22], c'est-à-dire une ressource au service des intérêts collectifs de l'humanité et qui ne peut être revendiquée ou possédée par une seule entité, ne suffit pas en soi à anticiper ni à régler de telles situations[23].

---

ministère des armées et l'Institut de Relations Internationales et Stratégiques (IRIS), novembre 2023. Cette note formule des recommandations concernant le contrôle du climat. Voir dans le même sens la mise en garde de la Commission européenne contre le « niveau de risque inacceptable » que fait peser la géo-ingénierie, notamment du point de vue géopolitique (28 juin 2023) ainsi que l'avis n° 17 précité du SAM/GCSA et l'avis du groupe européen d'éthique en science et nouvelles technologies (EGESNT), *SRM: ethical perspectives*, 9 décembre 2024, qui recommandent tous deux un moratoire sur l'utilisation de la MRS.

[19] F. Lentzos, "Pandemic risks: Are there some genetic experiments that simply should not be done?" *Bulletin of the Atomic Scientists,* Vol. 81, n° 3, 2023.

[20] Voir sur ce point A. Langlais et M. Lemoine-Schone (dir.), *Construire le droit des ingénieries climatiques*, UGA éditions, 2024, ainsi que S. Besson (cours précité). Le droit international applicable à la géo-ingénierie est fragmenté, en fonction des milieux, des techniques, des ratifications par les Etats, sans approche générale. Si certains textes existent, qui tentent d'interdire ou de limiter les déploiements incontrôlés, leur portée juridique est limitée par le fait que de nombreux Etats ne les ont pas ratifiés ou qu'il s'agit de textes « de droit mou » non assortis de sanctions. Voir par exemple, s'agissant de la géo-ingénierie marine, les déclarations adoptées par les 17ème et 18ème réunions des Parties contractantes au Protocole de Londres (Protocole LP 17, 2022 et Protocole LP 18, 2023), qui viennent réaffirmer l'inquiétude des Etats parties à ces instruments concernant les techniques de géo-ingénierie marine, la nécessité de les évaluer et de différer les activités de géo-ingénierie marine autres que "la recherche scientifique légitime". Voir aussi les décisions adoptées par la Conférence des parties à la Convention sur la diversité biologique, en faveur d'un moratoire sur les activités de géo-ingénierie, dont la MRS, et de la soumission de la recherche dans ce domaine à de strictes conditions (Géo-ingénierie climatique, IX/16, 2008 ; X/33, 2010 ; XIII/14, 2016). Dans le même sens, voir les codes de conduite sans portée obligatoire : principes d'Oxford précités ; A.-M. Hubert, « A Code of Conduct for Responsible Geoengineering Research », précité; American Geophysical Union (AGU), *Ethical framework for climate intervention*, octobre 2024 (https://agu.mediavalet.com/portals/ethicalframework). Des principes juridiques transversaux pourraient toutefois être mobilisés (mais avec quel succès ?), tels que le principe de précaution, l'obligation de ne pas causer de dommage à l'environnement ou le principe pollueur-payeur.

[21] Voir par exemple, la difficultés des Etats à se mettre d'accord sur les mesures à prendre pour instaurer une gouvernance internationale de la géo-ingénierie (https://www.college-de-france.fr/fr/agenda/cours/le-droit-international-de-la-science/des-sciences-appropriees-au-bien-public-international-de-la-science).Après l'appel à un accord sur la non-utilisation de la MRS, lancé en 2021 par de nombreux scientifiques, les 193 Etats membres du PNUE, réunis pour la 6e Assemblée générale des Nations-Unies pour l'environnement, ne sont pas parvenus à un consensus pour mettre en place un groupe d'experts chargé d'examiner les risques et le potentiel de la MRS. La question a été renvoyée à l'organisation météorologique internationale mais pour l'instant sans résultat.

[22] Avis de l'EGENST, *Solar Radiation Modification: Ethical perspectives*, précité. Voir aussi S. Besson, *Droit international de la science*, Collège de France, 14 mars 2024. Les biens communs mondiaux sont des ressources vitales (système climatique, biodiversité, océans) qui servent les intérêts collectifs de l'humanité, sont accessibles par tous, qu'aucun Etat ni entité publique ou privée ne peut s'approprier et dont la gestion exige un cadre de coopération internationale permettant d'en assurer l'utilisation et la préservation.

[23] Sur les limites du commun en tant qu'organisation collective destinée à assurer la pérennité de la ressource et à en organiser les usages, voir J. Rochfeld, *Justice pour le climat*, Odile Jacob, 2019, p. 63 et s.

B. Un positionnement de la recherche âprement discuté

Quel doit alors être le positionnement des personnels et institutions de recherche ? Cette question est très discutée dans les communautés scientifiques, même si elle se pose dans des termes différents pour les deux domaines.

En matière de gain de fonction, des expériences sont d'ores et déjà conduites dans divers laboratoires de par le monde, y compris en France[24], posant la question de la pertinence des expériences menées mais aussi et surtout de la possibilité de sécuriser ces recherches qui mettent en œuvre des manipulations génératrices de risques. Pour ce qui concerne la géo-ingénierie solaire, il ne s'agit pas tant de s'interroger sur la sécurité de projets d'expérimentation en cours puisque de tels projets n'existent pas à ce jour en Europe et sont encore rares dans le monde[25]. La question, pour un organisme de recherche comme le CNRS, est plutôt de déterminer s'il convient de s'orienter dans cette voie de recherche, sachant que trois options sont possibles : s'abstenir de toute recherche ; entreprendre des recherches purement théoriques ; conduire des recherches expérimentales voire accompagner le développement des techniques de mise en oeuvre. Ce débat s'est d'autant plus amplifié que face à la difficulté de mettre en place des politiques de réduction des émissions de CO_2, ces techniques bénéficient, notamment dans le monde anglo-saxon, d'un soutien intellectuel et financier croissant de la part d'Etats, d'industriels, et de scientifiques favorables à ce qu'ils qualifient « d'interventions climatiques »[26]. En France, et plus spécifiquement au CNRS, la question de l'opportunité de recherches dans ce domaine s'est ainsi posée frontalement depuis que l'industriel F.

[24] Du moins des recherches en virologie qui posent des risques plus importants que d'autres, notamment celles qui tentent de franchir la barrière d'espèce et celles qui consistent à fabriquer des virus chimériques.

[25] A l'exception des essais à petite échelle qui sont annoncés au Royaume-Uni par l'Agence ARIA, voir *infra* note suivante. Pour une carte des projets et expérimentations dans le monde, voir la note précitée de l'Observatoire défense et climat, et le rapport précité SAM/SAPEA, Evidence Review Report, *Solar Radiation Modification* ; la plupart des essais de MRS se sont heurtés à diverses oppositions notamment citoyennes ; voir notamment la décision de l'université de Harvard de suspendre, en 2021 puis en 2024, son projet d'injection d'aérosols dit SCOPEX (*Stratospheric Controlled Perturbation Experiment*), en partie à cause des tensions avec les populations avoisinantes (https://www.geoengineeringmonitor.org/sign-the-saami-councils-petition-to-stop-harvards-scopex-experiment). Voir également S. Jinnah et al.,« Do small outdoor geoengineering experiments require governance? », *Science*, *vol. 385, issue 6709*, août 2024.

[26] Voir M. de Guglielmo-Weber et R. Noyon, *Le Grand retournement. Comment la géo-ingénierie infiltre les politiques climatique*s, Les liens qui libèrent, 2024. Le champ de la géo-ingénierie est investi par des entreprises privées, des fondations et des associations abondées par des personnalités, notamment américaines, qui financent de la R&D sur la question, la MRS n'ayant toutefois « pas encore attiré d'investissements privés sérieux » précise le rapport SAM/SAPEA précité (p.90). Il donne aussi lieu à des investissements étatiques notables dans certains pays anglo-saxons et, visiblement dans une moindre mesure, en Chine. Aux Etats-Unis, voir entre autres : le rapport de l'Office of Science and Technology Policy (OSTP), *Congressionally Mandated Research Plan and an Initial Research Governance Framework Related to Solar Radiation Modification*, 2023 ; le *Harvard Solar Geoengineering Research Program* (https://salatainstitute.harvard.edu/sgrp/US); le Marine Cloud Brightening Project à l'Université de Washington. Au Royaume-Uni, voir notamment : les travaux du *UK Center for climate repair* à l'Université de Cambridge, organisation collaborative ayant pour mission de faire progresser la recherche sur des projets climatiques à fort impact ; l'Advanced Research and Invention Agency (ARIA), qui a annoncé en 2024 son programme « Exploring climate cooling » financé à hauteur de 56,8 millions de livres par le Département britannique pour la science, l'innovation et la technologie, et les 21 projets financés en 2025 dans ce cadre (https://www.aria.org.uk/opportunity-spaces/future-proofing-our-climate-and-weather/exploring-climate-cooling/) dont cinq expériences de terrain contrôlées à petite échelle (épaississement de la glace dans l'Océan Arctique, blanchissement des nuages, injection d'aérosols stratosphériques). A l'inverse, l'Union européenne s'inquiète des « grands dangers » que représente la MRS : voir les avis précités du SAM/GSCA (n° 17, 2024) et de l'EGESNT (2024).

Paulsen a invité le CNRS, *via* sa fondation « Albédo pour la cryosphère »[27], à investir le champ de la géo-ingénierie polaire[28]. Mais au-delà du CNRS, la question de l'opportunité de la recherche en géo-ingénierie solaire cristallise maintes oppositions[29].

Avec de multiples nuances, les controverses actuelles peuvent être résumées comme suit.

Pour certains, manipuler en laboratoire des bactéries ou virus pathogènes à potentiel pandémique ou manipuler le climat en modifiant le rayonnement solaire serait irresponsable, notamment en application du principe « ne pas nuire » qui se situe au cœur de l'éthique de la recherche. Plus précisément, **s'agissant d'expériences de gain de fonction**, certains virologues insistent sur le fait que l'expérimentation ne permet pas vraiment de prédire les futures pandémies, car prévoir en laboratoire l'évolution des virus et des êtres vivants en général s'avère illusoire[30]. Ils rappellent que la finalité de ces recherches reste d'autant plus sujette à caution que les accidents de laboratoire perdurent malgré les plus hauts niveaux de sécurité. Il est à leurs yeux plus efficace de surveiller les populations humaines et animales, de se préparer et de se donner les moyens de réagir rapidement en cas de nouvelle émergence épidémique[31].
Quant à la **modification du rayonnement solaire**, ses contradicteurs avancent essentiellement les arguments suivants. D'une part, pour être efficaces, les solutions proposées devraient être mises en place à une telle échelle que les exigences techniques et financières les rendent impossibles [32]. D'autre part, toute décision de s'engager dans des programmes de recherche scientifique tendrait à donner du crédit à une logique de « fuite en avant techno-solutionniste », à s'enfermer dans cette voie (risque dit d'effet « cliquet » ou de « pente glissante »[33]) et à affaiblir du même coup les efforts actuels de lutte

---

[27] L'albédo est le pouvoir réfléchissant d'une surface, c'est-à-dire le rapport du flux d'énergie lumineuse réfléchie au flux d'énergie lumineuse incidente. La cryosphère désigne toutes les portions de la surface des mers ou des terres émergées où est présente à l'état solide.

[28] A la date du présent avis, le projet ne semble plus d'actualité.

[29] Voir dans ce sens les interventions de F. Albarède, *Évaluation de la géo-ingénierie à l'Académie des sciences*, et de E. Lambin, *Modification du rayonnement solaire : risques, incertitudes et gouvernance,* au colloque Regards croisés sur la géo-ingénierie, Collège de France, 15 mai 2025.

[30] Voir B. Canard, E. Decroly et J. van Helden, « Les apprentis sorciers du génome », *Le Monde diplomatique*, février 2022 ; A. Danchin, « Faire évoluer les virus vers des formes plus pathogènes, est-ce vraiment raisonnable ? », *Raison présente*, *228 (4):35-43*, 2023 ; A. Danchin, « Science, method and critical thinking », *Microbial Biotechnology 16 (10): 1888-1894*, 2023 ; F. Velardo et al., « Dual-use research on modified pathogens in the laboratory: What framework for what issue? », *EDP Sciences, Vol. 38 n°3*, 2022.

[31] Dans ce sens : E. C. Holmes, A. Rambaut, A., K. G. Andersen, K. G. : « Pandemics: spend on surveillance, not prediction", *Nature*, 7 juin 2018.

[32] Par exemple, l'idée que des injections d'aérosols permettraient d'écrêter les pics de réchauffement serait inadaptée dans la mesure où ces injections exigeraient des ressources techniques et financières considérables et ne produiraient véritablement d'effets qu'au bout de quelques décennies ; voir l'avis n° 17 SAM/GSCA qui énonce plus généralement : "there is currently insufficient scientific evidence that SRM would effectively help to avoid dangerous climate change by reducing some of the resulting global warming". Dans le même sens pour ce qui concerne divers projets actuels de géo-ingénierie polaire, voir M. Siegert et al., « Safeguarding from dangerous polar geoengineering", *Frontiers in Science, nov. 2024 (pre-print)* (https://www.researchgate.net/publication/385550908_Safeguarding_the_polar_regions_from_dangerous_geoengineering). Le déploiement des projets existants de géo-ingénierie polaire nécessiterait par exemple des coûts initiaux de 100 milliards de dollars et des décennies de maintenance continue, ce qu'il est improbable de garantir sur des échelles de temps nécessairement courtes pour faire face au changement climatique.

[33] D. E. Callies: "The slippery slope argument against geoengineering research", *Journal of Applied o, 36*(4), 675–687, 2018; C. McKinnon: "Sleepwalking into lock-in? Avoiding wrongs to future people in the governance of solar radiation management research, *Environmental* Politics, 28(3), 441–459, 2018. Voir dans ce sens UNESCO, *Report of the world commission on the ethics of scientific knowledge and technology (COMEST) on the ethics of climate engineering*, SHS/COMEST-13/2023/1 REV, 2023 (ttps://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386677).

contre le changement climatique (risque dit moral)[34]. D'autant que, outre les dangers pour l'environnement (« choc de terminaison » ou « effet rebond » notamment), les techniques de géo-ingénierie seraient en fait essentiellement promues par des acteurs qui ont intérêt à ce que se perpétue un modèle fondé sur les énergies fossiles. Toute recherche sur la MRS serait donc la source de risques, ne serait-ce que par ses finalités[35]. Enfin, l'utilisation de la MRS pourrait exacerber l'hégémonie qu'exercent certains Etats technologiquement avancés sur d'autres Etats, en particulier les moins avancés. Les premiers auraient en effet le pouvoir de modifier le climat, qui est pourtant un « bien commun mondial », en fonction de leurs propres intérêts et, le cas échéant, au détriment des autres, sans que des règles internationales permettent aujourd'hui d'éviter ce risque. Trois avis rendus par des groupes d'expert et le groupe éthique de la Commission européenne pointent unanimement ces risques concernant la modification du rayonnement solaire[36].
Certains ajoutent qu'il conviendrait de prendre le temps de documenter les inconvénients et les avantages en jeu, mais que cela impliquerait des délais peu compatibles avec les mesures rapides qu'exige la crise climatique. Dès lors, il serait plus raisonnable en tous points de concentrer les efforts de recherche sur les approches conventionnelles qui visent à lutter contre les émissions ou à procéder au retrait de carbone[37].

A l'inverse, sans nier l'existence de risques ni l'utilité de règles, d'autres considèrent que la recherche ne devrait pas renoncer à des pistes susceptibles de répondre à des enjeux aussi cruciaux que de mieux se prémunir contre les pandémies ou de limiter les impacts du réchauffement climatique.

Concernant les expériences de gains de fonction, leurs partisans insistent sur la difficulté à les définir clairement et en conséquence à mettre en place des règlementations appropriées. Ils mettent par ailleurs en avant les justifications scientifiques de certaines de ces expériences et par là, les estiment potentiellement légitimes. Leur intérêt mériterait d'être examiné sans *a priori*. Ainsi, la découverte de nouvelles mutations sur l'un des gènes du virus de la grippe (H5N1) lors d'une infection naturelle d'épizootie de vaches laitières soulignerait l'intérêt que peuvent avoir les expériences de gain de fonction pour identifier *ex ante* de telles mutations et, du même coup, pour effectuer la surveillance, la détection et le suivi épidémiologique. L'utilité potentielle pour le développement de vaccins ou médicaments vient conforter l'argumentaire. Même si les exemples sont restreints et sans revenir aux

[34] Le risque ou aléa moral désigne la propension de celui qui se sait ou se croit protégé des conséquences de ses actes à prendre des risques supplémentaires. Dans ce sens, dès la fin des années 1990, voir D. Scott, « Geoengineering and Environmental Ethics", *Nature Education Knowledge* 3(10):10, 2012.

[35] Au-delà des projets expérimentaux, les recherches qui ont pour seul but de produire en laboratoire des connaissances sont également susceptibles, au regard de leurs finalités, de présenter des dangers dès lors que la connaissance n'est pas neutre. Voir sur ce point l'exemple de la recherche sur l'atome et, pour ce qui concerne la recherche dans les grands fonds marins, l'avis n° 16 du Comité éthique en commun, « Exploration, exploitation et préservation des milieux inconnus et très faiblement anthropisés ; cas particulier des grands fonds marins", 2024, qui, tout en énonçant que « mieux vaut connaître que ne pas connaître, qui pourrait le nier ? », pose la question « Connaître, oui, mais à quel prix ? ».

[36] Voir les documents précités de la Commission européenne sur la SRM : SAM/GSCA, *2024* ; SAM/SAPEA, *2024* ; EGESNT, *2024* ; voir aussi Climate Overshoot Commission, *Réduire les risques de dépassement climatique*, septembre 2023 (https://www.overshootcommission.org/report) ; S. Gardiner et C. MacKinnon: "The Justice and Legitimacy of Geoengineering", *Critical Review of International Social and Political Philosophy, 23/5*, 2020.

[37] Voir par exemple l'appel des scientifiques contre la recherche en géo-ingénierie solaire : https://www.solargeoeng.org/non-use-agreement/open-letter/ (2021) et https://www.solargeoeng.org/non-use-agreement/signatories/ (2022) ; D. R. Morrow, R.E. Kopp et M. Oppenheimer, *Research ethics and geoengineering*, dans J. Blackstock, S. Low (dir.), *Geoengineering our Climate? Ethics, Politics, and Governance*, Imprint Routledge, 2018.

premières expériences de Pasteur contre la rage[38], la mise au point d'un candidat vaccin contre la grippe aviaire H5N1 aurait bénéficié d'une telle approche[39]. Dès lors, un certain nombre de scientifiques mettent en garde contre un excès de précaution, qui pourrait constituer non seulement un frein à des innovations à leurs yeux socialement utiles mais aussi des entraves potentiellement nuisibles au champ entier de la virologie fondamentale dont l'utilité en matière de connaissances et de prévention est avérée[40]. Ils ajoutent qu'une réglementation excessive de la recherche sur le gain de fonction ne rendra pas le monde plus sûr, les risques les plus élevés tenant à des contaminations naturelles par des agents pathogènes présents dans la nature.

S'agissant de la géo-ingénierie solaire, certains scientifiques font valoir que renoncer à conduire des recherches sur ce sujet serait illogique, car l'objectif de la recherche scientifique est de produire des connaissances scientifiques nouvelles, et particulièrement lorsque les techniques sont encore immatures et leurs impacts mal connus. Ils ajoutent qu'il serait déraisonnable et même contraire à l'éthique de ne pas s'en donner les moyens. Etant donné les risques résultant du réchauffement climatique, ceux auxquels nous expose la géo-ingénierie solaire représenteraient un moindre mal. Dès lors, un devoir moral de conduire des recherches en la matière s'imposerait aujourd'hui comme à l'égard des générations futures[41]. Ils pointent aussi les fortes attentes sociétales qui poussent la recherche à apporter des solutions pour répondre aux « récits » que suscite la crise climatique face aux limites des réponses « conventionnelles » (« urgence », « points de bascule », etc.)[42]. A défaut de déployer la MRS à grande échelle, il conviendrait de financer rapidement et fortement des recherches, y compris expérimentales (essais de terrain), et ne pas se priver d'outils qui pourraient, même temporairement, constituer un ultime recours en cas d'impacts climatiques trop forts[43].

Le COMETS constate qu'aucun des principes mobilisés ni des arguments avancés au soutien de ces différentes positions (liberté de la recherche, disponibilité de financements de recherches toujours « bons à prendre », non-nuisance, moindre mal, risque moral, fuite en avant technologique, existence de risques pour l'environnement ou la santé, « urgence » climatique) **n'est *à lui seul* suffisant pour répondre à la question de savoir s'il est ou non responsable de conduire des expériences de gain de fonction ou des recherches en géo-ingénierie solaire**. **Il estime que la**

[38] P. Debré, *Louis Pasteur*, Flammarion 1994.

[39] M. Imai et al, "Experimental adaptation of an H5HA confers respiratory droplet transmission to a reassortant H5HA/H1N1 virus in ferret" , *Nature, 486,420-428, 2012*.

[40] Voir dans ce sens les auditions par le COMETS de R. Fouchier, G. Gronval et A. Rasmussen, ainsi que F. Goodrum et al., « Virology under the Microscope—a Call for Rational Discourse », *ASM Journals, Journal of virology, vol. 97, n° 2,* janvier 2023 ; A. Rasmussen et al, "Virology—the path forward", *Journal of virology, 98(1), e01791-23*, janvier 2024; F. Goodrum et al., "Virology under the microscope—a call for rational discourse", *Journal of virology, 97(2), e00089-23*, 2023 ; P. Speck et al., "Statement in Support of: "Virology under the Microscope—a Call for Rational Discourse", *Mbio, 14(3), e00815-23*, 2023 ; Société allemande de virologie (GfV), 2025, position précitée.

[41] J. Horton et D. Keith, "Solar Geoengineering and Obligations to the Global Poor" in C. J. Preston*, Climate Justice and Geoengineering: Ethics and Policy in the Atmospheric Anthropocene,* Rowman & Littlefield Pub., 2016. La UK Royal Society (2009) considère qu'en termes de justice et de risque moral, la réduction des émissions de gaz à effet de serre est préférable à la géo-ingénierie, mais conseille toutefois de poursuivre les recherches dans ce domaine.

[42] Sur cet argument de l'urgence selon lequel l'atténuation est une "stratégie du passé", la géo-ingénierie étant le seul moyen de prévenir la "bascule", voir E. Guilyardi, « Points de bascule : un concept contre-productif ? », *Scale up the future, 2050NOW La Maison*, avril 2024. Sur ces "récits", voir aussi M. De Guglielmo-Weber et R. Noyon, *Le grand retournement*, précité.

[43] Dans ce sens, voir dès le début des années 2000, le chimiste néerlandais P. J. Crutzen, « Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma? », *Springer Nature, Volume 77, pages 211–220*, juillet 2006 ; l'association américaine Silverlining (https://www.silverlining.ngo/stratospheric-aerosol-research-program); Sarah J. Doherty et al., "Letter of support for research on atmospheric aerosols and their potential to increase the reflection of sunlight from the atmosphere to address climate risk", 27 February 2023, (https://climate-intervention-research-letter.org) ; Climate Overshoot Commission, *Réduire les risques de dépassement climatique*, 2023, précité.

réponse à cette question appelle une analyse approfondie et, plus généralement, la mise en place d'un cadre de réflexion et d'action.

II) UN CADRE POUR APPRECIER LE CARACTERE RESPONSABLE DES RECHERCHES PRESENTANT DES RISQUES COLLECTIFS ELEVES

Le COMETS formule trois séries de recommandations. Premièrement, il s'agit d'instruire scientifiquement les questions posées par tout projet de recherche ou voie de recherche présentant des risques collectifs élevés, et ce de manière collégiale et coordonnée (A). Deuxièmement, l'instruction doit être multidisciplinaire, de façon à investiguer l'ensemble des questions en jeu, y compris celles qui relèvent des sciences sociales, et à permettre une évaluation la plus complète possible des risques et des bénéfices pour la société (B). Troisièmement, le COMETS insiste sur la nécessité de conforter ou d'instituer pour ces recherches des mesures solides de gouvernance de la recherche (C).

A. Une instruction scientifique coordonnée

Lorsqu'existe un potentiel de risques graves et irréversibles à grande échelle, et plus encore lorsque de fortes controverses divisent la communauté scientifique et/ou la société, il convient d'instruire les questions en jeu collectivement, selon une démarche scientifique coordonnée.

Tel n'est pas toujours le cas dans la situation actuelle.
En pratique, c'est le plus souvent en fonction de leurs intérêts intellectuels personnels, des opportunités financières et sans mécanisme de prise de décision coordonnée au sein de leur institution de recherche que chercheurs, chercheuses ou équipes de recherche décident des sujets à étudier et de la manière de le faire. Dès lors que leurs projets de recherche sont conformes, ou ne s'avèrent pas explicitement contraires à la politique scientifique de l'institution qui les héberge, les scientifiques ont tendance à définir par eux-mêmes leurs sujets, approches, méthodes et expériences, en négligeant parfois de s'interroger collectivement sur les finalités de leurs travaux, les risques qu'ils peuvent engendrer et les enjeux sociétaux sous-jacents[44]. Divers mécanismes existent certes, comme le contrôle de « conformité éthique » des financeurs et des revues, des règles juridiques ou codes de conduite[45] -

[44] Des exemples contraires existent. Voir par exemple le projet européen Co-CREATE (*Conditions for Responsible Research of SRM – Analysis, Co-Creation, and Ethos*) lancé au début 2024 et auquel participe l'Institut Pierre-Simon Laplace du CNRS. Le projet vise à déterminer, conjointement avec les parties prenantes, les conditions et les éléments d'un cadre de gouvernance pour la recherche sur les MRS, y compris des expériences dans l'Espace européen de la recherche. Il vise à éclairer la question de savoir si, et dans quelles circonstances, la recherche et les expériences sur les MRS peuvent être justifiées du point de vue scientifique et sociétal. Le projet comprend une approche de co-création étendue avec des experts, des parties prenantes et des « détenteurs de droits » - y compris les communautés marginalisées et touchées, comme les peuples autochtones dans l'Arctique et les communautés du Sud.

[45] Pour les expériences de gain de fonction, voir le Code de santé publique qui réglemente l'utilisation de certains agents pathogènes, de certaines toxines présentant un risque particulier pour la défense ou la santé publique, ainsi que l'utilisation des OGM. En ce qui concerne les expérimentations de géo-ingénierie en milieu ouvert, voir les textes cités en notre *supra* (relatifs à la géo-ingénierie marine ou à la biodiversité), qui prévoient un moratoire sur la géo-ingénierie à l'exception des recherches scientifiques si celles-ci sont « légitimes et de petite échelle » (voir LC 45/LP 18, 2023, précitée) ou qui affirment qu'« aucune activité de géo-ingénierie liée aux changements climatiques n'est entreprise, qui pourrait avoir un impact sur la diversité biologique, tant qu'il n'existe pas de base scientifique adéquate permettant de

mais ils ne sont pas toujours bien connus des chercheurs[46] ou sont mal adaptées aux enjeux. Par exemple, pour des projets financés par le PCRD européen, les scientifiques sont invités à s'interroger sur les risques de leurs propositions[47] mais, sauf exception, les risques visés sont essentiellement ceux qui sont déjà connus et non ceux pour lesquels les connaissances manquent et restent à évaluer.

Le COMETS souligne l'importance d'une démarche coordonnée des acteurs et des organismes de recherche afin d'instruire scientifiquement les questions en jeu. Il s'agit de rassembler et/ou produire collectivement les connaissances sur les impacts des recherches envisagées, sur les données dont on dispose pour les évaluer ou sur celles qui manquent. Une telle instruction collective constitue une responsabilité des scientifiques et des institutions de recherche, pour nourrir un débat public de qualité, éclairer les décisions publiques et alerter si besoin.

S'agissant des expériences de gain de fonction, le COMETS observe que, dans cette perspective, CNRS Biologie devrait très prochainement mettre en place un dispositif d'examen collectif des projets de recherche pour identifier, évaluer, assurer le suivi et gérer les risques encourus. Il s'agit de soumettre chaque projet à l'examen critique de pairs réunis dans un comité chargé d'en évaluer et d'en gérer les risques[48]. En ce sens, le CNRS suit à raison les préconisations du Conseil national consultatif pour la biosécurité (CNCB) sur la base desquelles l'Institut Pasteur a lui-même institué en 2021 un comité d'examen des recherches biologiques à risques. Lorsqu'un scientifique de l'Institut Pasteur envisage de mener une telle recherche, il soumet son projet à un collectif d'experts internes à l'Institut qui, s'il autorise le projet, en assure un suivi régulier, tous les six mois. Dans le cas d'un désaccord sur les risques ou sur les mesures appropriées pour les prévenir, des experts externes à l'Institut Pasteur sont sollicités.

Le COMETS observe que cette démarche d'instruction collective des projets de recherche constitue une approche responsable. Il recommande toutefois de :

- l'accompagner d'une politique de sensibilisation et de formation proactives des scientifiques, pour que l'évaluation des projets par le comité de pairs ait un véritable effet régulateur sur les

justifier de telles activités (…) à l'exception des études de recherches scientifiques à petit échelle qui pourraient être menées dans un environnement contrôlé (…) et seulement si elles sont justifiées par le besoin de rassembler des données scientifiques et sont sujettes à une évaluation préalable approfondie des impacts potentiels sur l'environnement » (décision adoptée par la conférence des parties à la Convention sur la diversité biologique, précitée). Voir aussi Les « codes de conduite » à destination des chercheurs en matière de géo-ingénierie : Asilomar Scientific Organizing Committee (ASOC), *The Asilomar Conference Recommendations on Principles for Research into Climate Engineering Techniques*, 2010 ; A.-M. Hubert, « A Code of Conduct for Responsible Geoengineering Research », *Global Policy, vol. 12 suppl.1*, 2021 ; American Geophysical Union (AGU), *Ethical framework for climate intervention*, précité.

[46] Sur le « défi chronique et fondamental (qu') est le manque généralisé de sensibilisation (…) dans ce domaine », voir OMS, *Cadre d'orientation mondial pour l'usage responsable des sciences de la vie, précité*. Sur la faible culture du risque en virologie,voir A. Danchin, « Science, method and critical thinking », *Microbial Biotechnology 16 (10): 1888-1894,* 2023. Sur la tendance qu'auraient les virologues à sous-estimer les risques et surestimer les bénéfices de leurs expérimentations, voir E. Yong, H. Ledford, R. Van Noorden, « Research ethics: 3 ways to blow the whistle », *Nature, volume 503, 2013*; J. Bloom, "A Plea for Making Virus Research Safer", *New York Times*, 30 octobre.

[47] Voir Commission européenne, *EU Grants, How to complete your ethics self-assessment*, version 2.0, 13 juillet 2021. Pour les projets européens qui présentent « un risque de gain de fonction », le porteur doit effectuer l'autoévaluation éthique de son projet puis remplir un tableau des risques critiques où sont décrites les mesures à prendre au cas où les autorités nationales n'accorderaient pas la ou les autorisations requises. Rien ne semble exister à ce jour au niveau de l'ANR en France.

[48] Lorsque le projet porte sur un OGM, plus précisément sur l'utilisation d'OGM en milieu confiné à des fins de recherche, il aura préalablement été soumis pour déclaration ou agrément au Ministère de la recherche, lequel sollicite l'avis du Comité d'expertise des utilisations confinées d'OGM (CEUCO).

comportements individuels des chercheurs, ingénieurs et personnels de plateformes[49] ; il sera utile d'évaluer périodiquement le respect du dispositif et de mettre en place un cadre contraignant si nécessaire, comme en matière d'expérimentation animale ou de recherche sur des sujets humains ;

- intégrer une dimension interdisciplinaire et sociétale dans cette démarche collégiale, qui ne doit pas constituer une pure affaire de sciences et techniques, au risque d'être considérée comme « juge et partie » ; au minimum, à l'image des comités chargés d'évaluer les projets de recherche biomédicale[50], ces processus collectifs devraient comprendre des personnes qualifiées en matière éthique et juridique ainsi qu'en sciences humaines et sociales, pour éviter l'entre-soi, permettre une vision large des enjeux et garantir une complémentarité de points de vue ;
- inviter les organismes financeurs à s'assurer que les projets qui leur sont soumis feront l'objet d'un suivi, et à stopper les financements si le comité de suivi préconise l'arrêt du projet ;
- assurer une collaboration étroite entre le CNRS et les autres organismes de recherche afin d'assurer une veille et une coordination continues ;
- poursuivre les démarches pour que dans le cadre d'une institution comme l'OMS, ou dans le cadre de réseaux et observatoires scientifiques internationaux, les scientifiques définissent un socle commun de règles relatives à l'évaluation et à la gestion des risques au niveau mondial[51].

En ce qui concerne la modification du rayonnement solaire, le COMETS estime qu'à l'heure actuelle, l'enjeu premier est d'objectiver les questions posées à partir de sources fiables. Ces recherches devraient être entreprises en complément et non au détriment des recherches sur les voies conventionnelles de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre ou de captation du carbone, qui devraient rester la priorité. Elles devraient **rester théorique**s (en laboratoire) et non viser à prototyper les techniques de géo-ingénierie solaire ou chercher à en accompagner le développement ; elles devraient avoir pour objet : la **détection** et la **surveillance des essais et éventuels déploiements** dans le monde ; **l'évaluation des impacts de la MRS – risques et bénéfices – pour l'environnement et la société.**

Le COMETS considère que dans un contexte de soutien croissant à la MRS par divers acteurs publics et privés et étant donné les enjeux, il est nécessaire que les scientifiques se dotent d'une expertise collégiale et impartiale dans ce domaine, dans le but **d'éclairer correctement le public et les décideurs sans laisser des intérêts sectoriels quels qu'ils soient produire des données à leur profit**.

Il estime fragile l'argument selon lequel l'« urgence climatique » obligerait à ne pas perdre de temps, car il comprend des auditions qu'il a menées que l'échelle temporelle propre au changement climatique n'empêche pas de prendre le temps nécessaire pour instruire les importantes questions en jeu dans un cadre multidisciplinaire, international et démocratique (voir *infra* II.C.).

---

[49] Dans ce sens, à propos du comité instauré par l'Institut Pasteur, voir Comité d'éthique de l'Institut Pasteur, avis n°3, *Les recherches duales à risques*, 2023, p. 8 (https://www.pasteur.fr/fr/file/59235/download). Dans ce même sens, Voir l'Académie nationale de médecine, ***De l'Origine du SARS-CoV-2 aux risques de zoonoses et de manipulations dangereuses de virus***, 2025, https://www.academie-medecine.fr/de-lorigine-du-sars-cov-2-aux-risques-de-zoonoses-et-de-manipulations-dangereuses-de-virus/).Sur cette "extension" de la démarche éthique applicable aux projets d'expérimentation sur des sujets humains, voir N. G. Evans NG, M. Lipsitch, M. Levinson, « The ethics of biosafety considerations in gain-of-function research resulting in the creation of potential pandemic pathogens *», J Med Ethics, 41(11):901*-8, 2015.

[50] Ces CPP (Comités de protection des personnes) sont chargés d'émettre un avis préalable sur les conditions de validité de toute recherche impliquant la personne humaine, au regard des critères définis par l'art. L 1123-7 du Code de la Santé Publique.

[51] Voir dans ce sens, OMS, *Cadre d'orientation mondial pour l'usage responsable des sciences de la vie,* précité.

Pour ces différentes raisons, **le COMETS accueille favorablement la mission qui vient d'être créée à cet effet au sein de l'agence de programme « Climat, biodiversité et sociétés durables » (CBSD)** coordonnée par le CNRS[52]. Elle vise précisément à cartographier les compétences existantes dans les différents établissements de recherche en matière d'« interventions climatiques », à structurer la recherche à venir dans ce domaine, à dresser un état des lieux des connaissances scientifiques existantes et manquantes, à recenser les initiatives internationales, européennes, nationales d'origine publique ou privée dans ce domaine, à contribuer à bâtir une feuille de route française.

Le COMETS recommande que cette démarche d'instruction soit multidisciplinaire (voir *infra*, B.), s'inscrive dans une logique de coopération scientifique au plan supranational, soit la plus ouverte possible aux parties prenantes, décideurs et société civile, obéisse à des règles strictes de transparence des financements et des résultats (voir *infra*, C.)

B. Une instruction multidisciplinaire des risques et des bénéfices pour la société

Le COMETS estime que l'instruction doit être multidisciplinaire de façon à investiguer l'ensemble des questions en jeu, y compris celles qui relèvent des sciences sociales, et à permettre une évaluation complète des risques et des bénéfices pour la société. Comme le COMETS l'a en effet souligné dans son avis n° 43, l'existence de risques n'est pas un empêchement *de principe*, du point de vue éthique, au fait de conduire une recherche, si la prise de risque est mesurée et maîtrisée et si la société en retire un bénéfice documenté.

1. Une interface entre sciences physiques et de la nature, sciences humaines et sociales et éthique

Cette instruction devrait fédérer tous les acteurs de la recherche concernés. Elle devrait assurer une interface entre sciences physiques et de la nature, sciences humaines et sociales et éthique[53]. C'est particulièrement vrai pour la géo-ingénierie solaire qu'il serait imprudent de promouvoir sans avoir abordé de front une série de questions socio-politiques, juridiques et éthiques que de nombreux observateurs ont pointées ces dernières années et qui sont tout aussi importantes que les défis techniques et les enjeux environnementaux[54]. Notamment, quelle est l'ampleur du risque moral et du risque de « pente glissante » liés au fait de financer des recherches sur la MRS[55] et comment s'en prémunir ? Dans la mesure où il n'existe pas à ce jour de cadre juridique assurant une utilisation

[52] L'agence de programme CBSD a notamment vocation à structurer et animer des actions de recherches sur des sujets d'importance majeure du point de vue de leur impact social ou de leur dimension stratégique au niveau national ou international. L'agence joue également un rôle d'articulation entre le monde académique, la société civile et les décideurs. https://www.cnrs.fr/fr/le-cnrs/missions/agenceCBSD

[53] Voir dans ce sens le projet européen Co-CREATE précité.

[54] Dans ce sens, voir, entre autres, D. W. Keith, *A case for climate engineering*, The MIT Press, 2013; S. M. Gardiner et A.Fragnière, "The tollgate principles for the governance of geoengineering: moving beyond the Oxford principles to an ethically more robust approach", *Ethics, Policy & Environment, 21(2), 143–174*, 2018 ; S. M. Gardiner, *A perfect moral storm: The ethical tragedy of climate change*, New York: Oxford University Press, 2011 ; S. Gardiner et C. MacKinnon, "The Justice and Legitimacy of Geoengineering", *Critical Review of International Social and Political Philosophy, 23/5*, 2020.

[55] Pour un aperçu des divergences scientifiques sur ce point, voir P. Schoenegger, K. Mintz-Woo, « Moral hazards and solar radiation management: Evidence from a large-scale online experiment », *Journal of Environmental Psychology,* Vol. 95, 102288, 2024.

concertée, pacifique et juste de la modification du rayonnement solaire[56], quels seraient les risques qu'un acteur procède seul à des déploiements, cause des dommages à certains Etats et populations (sécheresses, inondations, impacts sur l'agriculture, etc.), y compris les Etats moins avancés qui ont le moins contribué au réchauffement climatique et ne disposent pas des technologies ? Serait-il possible d'établir un lien de causalité entre le dommage et telle ou telle opération de géo-ingénierie? Si ce lien n'est qu'une probabilité, comment imputer les responsabilités[57]? Quelles seraient les chances de parvenir à une gouvernance mondiale robuste de la MRS, qui soit de nature à prévenir les inégalités et injustices ? Les dispositifs qui existent dans le champ militaire sont-ils adaptés à l'évaluation des risques de déploiement agressif par un Etat envers un autre ?[58]
L'objectif de l'agenda de recherche devrait être de clarifier ces questions, parallèlement aux recherches sur les impacts environnementaux et sanitaires liés au fait de s'engager dans cette voie. Tous ces travaux d'instruction devraient évoluer conjointement, à travers des projets communs et des rendez-vous réguliers de nature à permettre une évaluation la plus complète possible des risques et des bénéfices attachés aux recherches projetées, condition essentielle à l'éthique de la recherche[59].

2. Une analyse des bénéfices et des risques pour la société

a. *Un exercice difficile mais nécessaire*

L'analyse bénéfices-risques est d'ores et déjà au cœur de nombreuses dispositions juridiques applicables à la recherche scientifique, comme en matière de recherche biomédicale ou d'expérimentation animale, où les bénéfices attendus d'une recherche doivent l'emporter sur les risques encourus par les sujets d'expérimentation. **Le principe d'une telle analyse suscite toutefois de la méfiance chez certains scientifiques qui, s'agissant surtout de la recherche fondamentale**, l'estiment trop difficile à mettre en œuvre, inadaptée, voire contre-productive. Les arguments suivants sont souvent mobilisés.

Il n'existerait pas d'outils et de cadre méthodologique universels pour effectuer l'analyse des bénéfices et des risques, d'autant que celle-ci dépend d'*inévitables jugements de valeur* auxquels les chercheurs ne peuvent pas échapper et qui varient en fonction des Etats, mais aussi en fonction des acteurs qui ont des visions différentes de ce qu'est un risque, un risque acceptable ou un bénéfice. Le caractère bénéfique ou risqué d'une recherche est donc une notion floue, subjective et évolutive.

Par ailleurs, l'analyse risques-bénéfices est considérée comme complexe. Les risques et les bénéfices ne pourraient pas être comparés car ils sont le plus souvent de nature différente et ne concernent pas les mêmes acteurs. L'analyse s'appuie par ailleurs sur des hypothèses souvent spéculatives pour lesquelles le retour d'expérience est encore limité. En virologie par exemple, les expériences en laboratoire ne permettent pas toujours de fonder des prévisions robustes, la nature étant plus complexe

[56] Voir *supra* les références à A. Langlais et M. Lemoine-Schonne (dir.), *Construire le droit des ingénieries climatiques*, précité, et S. Besson, cours au Collège de France précité. Voir aussi A. Robock, « Cloud control: Alan Robock on the effects of geo-engineering and nuclear war", *Bull. Atomic Sci., 71(3), 1-7, doi:10.1177/0096340215581353*, qui énonçait déjà en 2015 que les Etats devraient se mettre d'accord sur une température cible et sur l'entité chargée de mettre en œuvre les techniques *ad hoc*, et qui s'inquiétait que les divergences sur ces questions ne dégénèrent en guerre nucléaire, provoquant, entre autres effets, un hiver nucléaire et une famine mondiale.
[57] Les recherches relatives à "l'attribution" indiquent en l'état que seules des probabilités de causalités peuvent être obtenues. Voir sur ce point J. S. Wan et al. Diminution de l'efficacité de l'éclaircissement des nuages marins régionaux dans un monde plus chaud. *Nature Changement climatique,* 2024, https://doi.org/10.1038/s41558-024-02046-7
[58] Pour les questions plus précises à analyser, voir *infra* 2) b.
[59] C'est dans cette perspective que la Commission européenne a abordé cette question en sollicitant l'avis du SAM (*Scientific advice mechanism)* et celui du *Groupe européen d'éthique (avis précités).*

que le milieu fermé. De même, lors de recherches théoriques ou très « amont », il est souvent difficile d'anticiper les retombées des résultats à venir et des applications qui en seront faites par les acteurs socio-économiques. L'analyse risques-bénéfices serait même contre-productive puisqu'en s'interdisant de conduire des recherches potentiellement dangereuses, on s'empêcherait d'obtenir des résultats potentiellement utiles[60].

Enfin, le décalage temporel entre le temps de l'analyse et celui de l'action est souvent mis en avant. Certains font valoir qu'il faudrait des décennies de recherche sur la MRS pour obtenir les données permettant d'en évaluer correctement la pertinence et les effets, alors que des décisions doivent être prises sans délai.

Le COMETS observe que ces arguments ont conduit à une faible formalisation de l'analyse risques-bénéfices, tant dans les politiques de recherche que dans les pratiques de nombreux chercheurs, à l'exception des cas où la loi la prévoit.

Toutefois, les difficultés réelles à mener une évaluation risques-bénéfices ne sont pas une raison suffisante pour s'en affranchir, surtout lorsque sont en jeu des risques élevés de dommages aux personnes ou à l'environnement[61]. Comme l'implique la notion de « recherche et innovation responsables » (RRI), la recherche scientifique n'a pas seulement pour mission de produire des connaissances nouvelles. Elle doit également s'assurer que les expérimentations qu'elle mène et les connaissances qu'elle produit sont, au regard des risques et des bénéfices qui en découlent, en adéquation avec les besoins, les intérêts et les valeurs de la société. La fonction de la recherche est précisément d'objectiver ces questions. Les personnels de recherche doivent par conséquent renforcer leur culture de la balance risques-bénéfices, et, dans un espace de dialogue collégial, expliciter ce qui relève des bénéfices escomptés et des risques redoutés[62]. **Le COMETS estime qu'une telle analyse devrait être davantage formalisée et systématisée pour tout projet ou voie de recherche à risques, suivant une grille qui tient compte de l'exposition et de la vulnérabilité des sociétés et des écosystèmes. Il en ébauche ci-dessous une armature générale**.

b. Une grille d'analyse

- **L'analyse des risques et des bénéfices doit être menée au cas par cas.**

- Par exemple, le risque étant le produit d'un aléa, d'une exposition et d'une vulnérabilité, une expérience de gain de fonction ne présente pas les mêmes risques selon qu'elle est conduite en laboratoire P3 ou P4, dans une zone inhabitée ou dans une mégapole, dans un environnement géopolitique stable ou instable.
- De même, un projet qui consiste à recréer le virus d'une maladie disparue, comme la grippe espagnole, n'est pas comparable à un projet visant à évaluer la virulence d'un coronavirus SARS-CoV2 lorsque l'épidémie frappe déjà et qu'une meilleure compréhension du virus importe particulièrement.

[60] Sur tous ces aspects, voir notamment F. Graner, « Faut-il interdire la recherche scientifique », *Raison présente n° 228, « Tout est-il souhaitable en recherche ? »*, décembre 2023.
[61] Voir à cet égard: Comité Ethique en commun, *Les grands fonds marins doivent bénéficier d'un statut de préservation plus strict que celui de "patrimoine commun de l'humanité*, avis n°16, juillet 2024 ; B. Bedessem et S. Ruphy, "The unpredictability of scientific inquiry: the unexpected might not be where you would expect", *Studies in History and Philosophy of Science Part A, Volume 73*, *pages 1-7,* 2019 ; N. Bostrom, "The Vulnerable World Hypothesis", *Global Policy Volume 10, Issue 4*, novembre 2019 ; T. David, "Stratégies de gouvernance pour les recherches duales à risques », *Table ronde organisée par EffiSciences, département de philosophie de l'ENS*, 25 mars 2024.
[62] C'est tout le travail entrepris depuis dix ans par le CNCB pour les recherches biologiques à risques, et sur lequel reposent les travaux du comité institué par l'Institut Pasteur et du comité qui sera prochainement mis en place par CNRS-Biologie.

- Un projet mené dans un laboratoire avec du personnel qualifié peut être acceptable alors que le même projet peut s'avérer contestable s'il est mené dans un autre laboratoire avec des personnes moins formées aux risques associés aux expériences envisagées.
- Un projet d'épaississement de la banquise n'est pas comparable à un projet d'injection d'aérosols dans la stratosphère en termes d'impacts environnementaux, sociaux ou économiques.
- Mener des recherches en laboratoire sur la MRS, à seule visée de produire des connaissances, n'est pas la même chose que de mener des expérimentations de « mise en œuvre » de la technique en milieu ouvert ; conduire des essais de MRS nécessitant des injections régulières de SO_2 dans la stratosphère n'expose pas au même risque selon que l'on se situe dans un contexte apaisé ou de conflit diplomatique.

- **L'analyse devrait mettre en perspective les impacts de la recherche envisagée et les impacts des options alternatives**

-Pour la géo-ingénierie, par exemple, il convient de comparer les risques et les bénéfices respectifs des scénarios suivants : mener des recherches sur telle ou telle technique de géo-ingénierie en laboratoire, par simulation numérique ; expérimenter cette technique en milieu ouvert ; s'abstenir purement et simplement d'engager des programmes de recherche sur cette technique ; prioriser les recherches sur des solutions de décarbonation classiques, comme le retrait ou la captation du CO2.

-Les impacts de chacune de ces options devraient être comparés aux risques que fait courir le changement climatique sans technique de refroidissement par géo-ingénierie. Cette mise en perspective renvoie à la justification morale du « moindre mal », c'est-à-dire au devoir d'étudier toutes les options, même celles qui sont porteuses de dommages potentiels, si elles sont susceptibles de prévenir des risques plus grands.

- **L'analyse devrait reposer sur une grille de questions à systématiser et à discuter.**

A titre non exhaustif :
- Quels risques sont identifiés à court et long terme et pour qui ? Quelle est leur gravité et leur réversibilité ? Qu'en est-il des risques résultant d'une utilisation malveillante ? Ces risques peuvent-ils évoluer avec le contexte géopolitique et économique ?
- Quelle est la pertinence scientifique, technique et sociétale du projet ou de l'orientation de recherche envisagés ? Quel est le moteur de connaissance ou d'application qui, sur le plan scientifique, clinique, thérapeutique ou environnemental, justifie d'entreprendre la recherche ?
- Quels bénéfices sont escomptés à court et long terme et pour qui ?
- Quels degrés d'incertitude affectent la nature, la probabilité et l'ampleur des risques redoutés et des bénéfices escomptés ?
- Les risques peuvent-ils être maîtrisés ? Quelle est l'efficacité des garde-fous qui pourraient être mis en place ? La recherche peut-elle être interrompue si des indicateurs montrent que le risque redouté se réalise ?
- Peut-on aboutir aux résultats recherchés par une voie alternative moins dangereuse ?
Par exemple, on devrait se demander si recréer par voie synthétique un virus disparu, comme celui de la variole équine, constitue un objectif pertinent pour la société[63] ; s'il est possible, probable ou très incertain d'en tirer un nouveau vaccin ; si, en contrepartie de ce bénéfice escompté, des risques

[63] Sur cet exemple de la synthèse par une équipe canadienne du virus de la variole équine (*Horsepox*) très proche du virus de la variole humaine responsable d'une maladie très contagieuse et mortelle dans environ 30% des cas, voir K. Kupferschmidt, « How Canadian researchers reconstituted an extinct poxvirus for $100,000 using mail-order DNA", *Science, 6(10.1126),* 2017.

existent, comme la résurgence de cette maladie disparue qu'est la variole humaine suite à un accident de laboratoire ou à l'appropriation de la technologie par une organisation terroriste ; s'il est possible de travailler avec des pathogènes atténués ou des pseudovirus.
De même, pour la MRS, il convient d'évaluer : les bénéfices et les risques identifiés à court terme et à long terme ; la disponibilité technologique ; la faisabilité logistique et le coût économique d'un déploiement à grande échelle de cette technique [64] ; la capacité des essais à une échelle locale de constituer un bon témoin de ce que seraient les effets de la technique à grande échelle : du fait de la variabilité inhérente au système climatique comme au vivant, et, plus encore, à leurs interactions, serait-on capable d'attribuer tel ou tel effet à l'essai ?

- **L'analyse devrait prendre en considération les implications politiques, économiques, sociales et éthiques des différentes options possibles**.

Le cas de la MRS illustre ainsi l'importance d'élargir le spectre de l'analyse à ces implications, non seulement pour ce qui concerne les recherches « en elles-mêmes » génératrice de risques (par exemple des essais in situ) mais aussi pour les recherches théoriques en laboratoire (observations, modélisations), qui présentent des risques physiques minimes mais peuvent comporter des risques socio-politiques. C'est à ce titre que devraient être analysées les questions suivantes.

- Si le choix était fait de ne pas financer de recherche publique sur la MRS, quel serait le risque de laisser le sujet « entre les mains » d'entités qui promeuvent ces techniques et auraient intérêt à produire des données et à publier des résultats qui leur seraient favorables ? La MRS étant soutenue par des acteurs dont certains pourraient avoir intérêt à maintenir des industries et un mode de vie à forte intensité carbone, quel serait le risque, pour la recherche publique et pour l'intérêt général, de se priver d'alimenter les débats nationaux et internationaux du résultat de ses propres recherches ? Si, au contraire, le choix était fait de s'engager dans des recherches sur la MRS, ne serait-ce que pour produire des connaissances théoriques et non pour expérimenter en milieu ouvert, quel serait le risque moral que ce choix détourne l'attention de la priorité actuelle que constitue la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Quel serait le risque que l'engagement de recherches en la matière constitue une motivation pour affaiblir les efforts de réduction déjà difficiles à mettre en œuvre socialement et ralentisse ainsi les actions qui s'attaquent aux causes du changement climatique ?
- Y aurait-il par ailleurs un risque que la décision de conduire des recherches, même théoriques, sur la MRS, encourage voire cautionne le déploiement de la technique au point d'empêcher tout retour en arrière ? On sait en effet que la recherche peut se trouver impliquée dans un tissu de motivations et d'intérêts qui la dépassent, et devenir dépendante de techniques ou de systèmes politico-économiques susceptibles de lui imposer ses objets, ses acteurs et sa temporalité[65].
- Si, par exemple, les bailleurs de fonds de la recherche décident de canaliser l'essentiel du financement vers la MRS, une dynamique politique ne risque-t-elle pas de s'enclencher et des communautés d'intérêt sociotechniques de se former, qui conduiraient inéluctablement à la poursuite du développement de la technologie ? La recherche dispose-t-elle d'outils aptes à éviter ce risque d'effet cliquet ou de pente glissante ?
- Quel serait en outre le risque d'injustices liés à des essais à grande échelle ou au déploiement de la MRS par une entreprise ou un Etat ? Puisqu'un consensus semble exister sur le fait que toute intervention suffisamment importante pour affecter le climat d'un Etat ou d'une région

[64] Voir sur ce point le rapport SAM/GCSA (précité), page 24 et suivantes: « Le développement et le déploiement des technologies de MRS à grande échelle nécessiteraient des ressources considérables, y compris des mécanismes d'acheminement des aérosols dans l'atmosphère » (traduction COMETS). Dans le même sens, M. Siegert et al., « Safeguarding from dangerous polar geoengineering » (précité) ; G. Moal, « La géo-ingénierie à la rescousse du climat ? Enjeux, acteurs et perspectives d'un symbole de l'Anthropocène", *IFRI*, février 2022.
[65] Voir l'avis n° 16 du Comité Ethique en commun, précité.

affectera nécessairement celui d'autres régions (augmentation des précipitations, sécheresses…), quelles sont les conséquences pour les Etats et leurs communautés qui n'auraient pas consenti et seraient lésés, par exemple pour un Etat moins avancé qui n'aurait pas participé activement au processus de décision ? Serait-il possible d'établir un lien de causalité entre des dommages et telle ou telle opération de géo-ingénierie ?

- Inversement, une intervention jugée bénéfique à l'échelle globale devrait-elle être considérée de ce fait pertinente même si des préjudices à l'échelle régionale, donc d'impact géographique plus limité, sont à anticiper ?
- Quels seraient les risques géopolitiques et sécuritaires liés au développement de la MRS, notamment à l'utilisation ou la menace d'utilisation de la MRS par un Etat ou une organisation malveillante ? Existe-t-il un cadre et des règles juridiques solides au plan international pour assurer que la MRS, si elle était déployée, ferait l'objet d'une action concertée des décideurs politiques à l'échelle mondiale et serait mise en œuvre au service de l'intérêt général ?

Le COMETS est conscient des difficultés d'une telle analyse risques-bénéfices, qui doit faire appel à de multiples disciplines, se heurte à de nombreuses incertitudes, met en jeu des jugements de valeur, ne livrera pas toujours une ligne de conduite ferme et ne conjurera pas tous les risques. Identifier le juste équilibre entre investigation scientifique et préservation d'autres intérêts fondamentaux sera souvent délicat. Le COMETS entend par ailleurs l'argument tenant aux difficultés temporelles que peut poser l'analyse des risques et des bénéfices, notamment pour la géo-ingénierie solaire. Il n'y aurait pas de temps à perdre pour développer et déployer les techniques face à ce qui est perçu comme une « urgence climatique » par certains acteurs, dont de nombreux scientifiques. Toutefois, le COMETS rappelle encore une fois que l'échelle temporelle propre au changement climatique n'empêche pas de prendre le temps nécessaire pour instruire les importantes questions en jeu dans un cadre multidisciplinaire, international et démocratique (voir *infra* C. les règles de gouvernance).

C. Des dispositifs solides de gouvernance de la recherche

S'agissant de recherches présentant des risques élevés pour l'environnement et la santé, et particulièrement lorsque les recherches sont controversées, le COMETS insiste enfin sur les nécessités suivantes : respecter rigoureusement les règles éthiques et déontologiques qui s'imposent aux chercheurs ; conforter ou instituer des dispositifs d'accompagnement des recherches ; renforcer autant que possible la coopération scientifique aux plans européen et international ; structurer des espaces d'échange entre recherche, décideurs et société civile.

1. Respecter un cadre éthique et déontologique rigoureux

Compte-tenu de l'ampleur des impacts potentiels, directs ou indirects, liés aux recherches considérées dans cet avis et étant donné les enjeux économiques et politiques puissants qui les sous-tendent, le COMETS rappelle que l'intégrité scientifique, la transparence, l'impartialité, la déclaration des éventuels liens d'intérêts, la divulgation des sources constituent des obligations déontologiques et éthiques primordiales. Par exemple, la transparence sur l'origine des financements des recherches est cruciale, pour que ces dernières soient dignes de confiance[66].

[66] Tous les avis et recommandations formulés ces dernières années vont à raison dans ce sens. Voir, entre autres : Climate Overshoot Commission, *Réduire les risques de dépassement climatique*, précité ; AGU, *Ethical framework for climate intervention*, précité ; EGESNT, *SRM: ethical perspectives*, précité.

2. Conforter ou instituer des dispositifs d'accompagnement des recherches

Des dispositifs d'accompagnement des recherches devraient être mis en place et assurer, à des jalons réguliers, que le passage d'une phase de recherche à la suivante ne soit opéré qu'à l'issue d'une décision collective documentée et réfléchie[67].

Parmi ces dispositifs, le COMETS vise le suivi des projets, la mise à jour des instructions et analyses risques-bénéfices, l'adaptation en conséquence des projets et sujets de recherche.

Il insiste sur la mise en œuvre de rendez-vous réguliers et de « portes de sortie » permettant de suspendre momentanément voire d'abandonner les recherches en cas de nouvelles données disponibles indiquant l'existence de risques inconsidérés. Par exemple, le phénomène « d'effet cliquet » ou de « pente glissante » ne doit pas être une fatalité. Même si des financements ont été accordés à un projet ou à un programme de recherche, on doit pouvoir l'arrêter momentanément, le réorienter ou le stopper définitivement. Une gouvernance légitime de la recherche doit rimer avec la possibilité de conclure que poursuivre certains projets ou certaines voies de recherche n'est pas responsable et savoir gérer les conséquences de cet arrêt pour les acteurs[68].

Au titre de la gestion des risques, le COMETS insiste également sur la question de la publication des résultats des expérimentations. S'il convient en principe d'assurer une transparence maximale, notamment afin de favoriser la coopération scientifique (voir *infra*), il faut éviter la divulgation d'informations sensibles qui accroîtraient la probabilité qu'une entité malveillante les exploite[69].

3. Renforcer la coopération scientifique aux plans européen et international

Lorsque le domaine de recherche présente des risques collectifs élevés qui dépassent les frontières, la coopération entre les scientifiques est capitale, particulièrement lorsque la perspective d'accords multilatéraux est en voie de régression comme c'est le cas dans le contexte géopolitique actuel, très fragmenté. Il s'agit autant que possible de mettre en place un socle commun d'évaluation et de gestion des recherches à risques, de partager un état des lieux régulier des recherches en cours et de leurs impacts[70].
Si difficiles soient-ils dans un monde de moins en moins enclin au multilatéralisme, les efforts dans ce sens devraient être poursuivis, notamment dans le cadre de l'OMS pour les expériences de gain de fonction[71], du PNUE de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) ou du Programme mondial de

[67] L'avis de l'EGENST, *SRM: ethical perspectives*, précité, appelle ainsi, pour ce qui concerne la MRS, à une « approche de précaution adaptative et réflexive » (p. 15).
[68] D. R. Morrow, "A mission-driven research program on solar geoengineering could promote justice and legitimacy*", Critical Review of International Social and Political Philosophy, 23(5), 618–640*, 2019.
[69] Le secret n'est pas contraire au principe de la science ouverte. Selon les recommandations de la Commission Européenne, la science doit en réalité être « aussi ouverte que possible, aussi fermée que nécessaire ». Voir Comité d'éthique de l'Institut Pasteur, avis n°3, précité.
[70] Dans ce sens pour la géo-ingénierie, v. avis de l'EGENST, *Solar Radiation Modification: Ethical perspectives*, précité, p. 36. Voir aussi les projets de recherche Co-CREATE (cité supra) ou Geo-MIP (geoengineering model intercomparison project) du World Climate Research Program.
[71] Voir sur ce point les propositions de l'Académie nationale de médecine, rapport 2025 précité, p. 12, ainsi que OMS, Cadre d'orientation mondial pour l'usage responsable des sciences de la vie, précité.

recherche sur le climat (PMRC) pour la géo-ingénierie solaire[72] mais aussi dans le cadre de réseaux et observatoires scientifiques multidisciplinaires.

4. Structurer des espaces d'échange entre la recherche, les décideurs et la société civile[73]

Le secteur de la recherche devrait enfin travailler à renforcer et structurer des espaces d'échange entre scientifiques, décideurs et société civile, afin que soient discutées en transparence les priorités de recherche. En France, les relations avec l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) devraient être renforcées.

Il en va de même des lieux d'échange avec la société civile. S'il est en effet normal que la recherche détermine les modalités de conduite de ses projets selon les critères propres à la démarche scientifique, elle doit également ménager des moyens et des espaces dans lesquels les impacts de ses pratiques mais aussi ses finalités peuvent être discutées et les préoccupations de la société entendues – quels sont les objectifs recherchés, les bénéfices escomptés, les risques acceptables, les choix de société possibles[74] ?

A ce jour, sauf cas particuliers comme la bioéthique ou, dans une moindre mesure, le nucléaire[75] où les citoyens ont l'occasion d'avoir voix au chapitre, les outils et concepts manquent pour que la société se saisisse de ces grands problèmes au bon niveau, dans leur complexité et sur la durée. Il est dès lors nécessaire que le monde de la recherche, bien au-delà des « rencontres sciences et citoyens » régulièrement organisées par le CNRS, s'interroge sur les meilleures manières de mobiliser, informer et consulter la société civile dans ses différentes sphères (grand public, ONG, entreprises, etc.) pour débattre des risques auxquels la recherche peut l'exposer et des conditions de leur acceptabilité[76]. Certains chercheurs s'engagent individuellement dans ce but, mais c'est avant tout au secteur de la recherche lui-même de penser son organisation et ses institutions pour satisfaire cette exigence de la manière la plus appropriée.

---

[72] E. Decroly, « Il est urgent d'harmoniser les réglementations internationales de biosécurité dans la recherche », *Le Monde*, 4 juin 2024 ; A. Garric, « Face à l'utilisation « inéluctable » de la géo-ingénierie solaire, des scientifiques appellent à une gouvernance mondiale », *Le Monde*, 26 janvier 2025.

[73] Dans ce sens, voir S. M. Gardiner et A. Fragnière, « The Tollgate Principles for the governance of geoengineering: Moving beyond the Oxford Principles to an ethically more robust approach", *Éthique, politique et environnement*, volume 21, numéro 2, 2018; UNESCO, COMEST, *Report of the world commission on the ethics of scientific knowledge and technology on the ethics of climate engineering*, précité ; EGENST, *Solar Radiation Modification: Ethical perspectives*, précité.

[74] De nombreux acteurs appellent de longue date à une telle évolution, pour reformuler et adapter les questions de recherche au plus près des questionnements de la société, pour en discuter l'acceptabilité, et ce dans un but de contrôle démocratique de la recherche. Voir UNESCO, Recommandation sur une science ouverte, 2021 (https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949_fre); M. Haklay, *Citizen science and policy: A European perspective*, Woodrow Wilson International Center for Scholars, case study series, volume 4, 2015.

[75] Voir le Comité d'orientation des recherches de l'IRSN (désormais fusionné avec l'ASN).

[76] Voir EGENST, *Solar Radiation Modification: Ethical perspectives*, précité, qui propose des consultations publiques, ateliers participatifs, forums de parties prenantes, réseaux d'observation, organes consultatifs… et suggère, pour représenter les intérêts des générations futures et des entités non-humaines dans ces processus, d'intégrer systématiquement les principes d'équité intergénérationnelle dans l'évaluation des impacts environnementaux et sociaux à long terme.

SAISINE

FRS-D 2025-16

Le Président-Directeur général

Madame Christine NOIVILLE
Présidente du COMETS

Paris, le 09/04/2025

Madame la Présidente,

Mesdames et Messieurs les membres du Comité d'éthique du CNRS,

Le monde est de plus en plus confronté à des transitions et des crises qu'elles soient sanitaires ou liées au changement climatique, voire les deux. Face à cette situation, certains fondent des espoirs dans la science qui devrait nous apporter des réponses à ces défis. C'est notamment le cas des expériences de « gains de fonction », qui visent à modifier le potentiel pathogène de bactéries ou de virus en vue de mieux en comprendre le fonctionnement et se préparer à de nouvelles pandémies, ou encore des techniques de géo-ingénierie qui proposent de modifier l'environnement et les cycles naturels afin de réduire les effets du réchauffement climatique. Ces approches ne sont pas sans risque qu'il est parfois difficile d'évaluer.

Compte tenu des interrogations mais aussi des controverses que suscitent au sein de la communauté scientifique l'ampleur de ces risques qu'entraînent en particulier ces deux champs de recherche, la direction du CNRS a décidé de s'interroger sur la pertinence des expériences de « gains de fonctions » telles qu'elles sont pratiquées ainsi que sur l'opportunité de mener des recherches en géo-ingénierie. Dans cette optique, étant donné leur enjeu éthique, je serais reconnaissant au COMETS de nous faire part de ses analyses et de ses recommandations concernant ces deux questions, et, au-delà, d'aider l'organisme, ses laboratoires et ses personnels à déterminer comment évaluer le caractère raisonnable ou déraisonnable d'une recherche scientifique.

Avec mes remerciements,

Antoine Petit

CNRS
Présidence-direction générale
3 rue Michel-Ange
75794 Paris Cedex 16

LISTE DES ACRONYMES

- AGU : *American Geophysical Union,* Union américaine de géophysique
- ANR : Agence Nationale de la Recherche
- ARIA : *Advanced Research and Innovation agency,* Agence de recherche et d'innovation avancées
- ASN: Autorité de sûreté nucléaire
- ASOC : *Asilomar Scientific Organizing Committee,* Comité d'organisation scientifique de la conference d'Asilomar
- BSL : *biosafety level,* niveau de biosécurité
- CBSD : agence de programme Climat, Biodiversité et Sociétés Durables
- CERN : Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
- CEUCO : Comité d'Expertise des Utilisations Confinées d'OGM
- CNCB : Conseil National Consultatif pour la Biosécurité
- CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
- CO_2 : dioxide de carbone
- COMEST : *The world COMmission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology*, Commission mondiale de l'UNESCO sur l'éthique des connaissances scientifiques et de la technologie
- COP : *Conference Of the Parties*, Conférence des parties
- Cov2 : Covid 2
- CPP : Comité de Protection des Personnes
- CRISP/cas9 : *clustered regularly interspaced short palindromic repeats/ CRISPR-associated protein 9,* répétitions palindromiques courtes régulièrement espacées associées à la protéine 9 CRISPR
- CSBD : Agence de programme Climat, Sociétés durables et Biodiversité
- DNA : *Deoxyribonucleic acid*, acide désoxyribonucléique (ADN)
- EGESNT : *European Group on Ethics in Science and New Technologies,* Groupe européen d'éthique en science et nouvelles technologies
- ENS: Ecole Normale Supérieure
- EPRS: *European Parliament research service*, Service de recherche du Parlement européen
- GCSA : *Group of Chief Scientific Advisors,* Groupe de conseillers scientifiques en chef du SAM
- GEE : Groupe Européen d'Ethique
- GfV : *Gesellschaft für Virologie*, Société allemande de virologie
- GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, voir IPCC
- H5HA: hémagglutinine, sous type 5, *hémagglutinine*
- H5N1 : hémagglutinine, sous type 5, neuraminidase, sous-type 1
- IFRI : Institut Français des Relations Internationales
- IPCC : *Intergovernmental Panel on Climate Change*; voir GIEC
- IRIS: Institut de Relations Internationales et Stratégiques
- IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
- LC 45/LP 18 : *45th Consultative Meeting of Contracting Parties to the London Convention and the 18th Meeting of Contracting Parties to the London Protocol,* 45ème Réunion consultative des Parties contractantes à la Convention de Londres et 18ème Réunion des Parties contractantes au Protocole de Londres

- MERS : *Middle East Respiratory Syndrome,* Syndrome respiratoire du Moyen-Orient
- MRS : modification du rayonnement solaire ; voir SRM
- NIH : *National Institutes of Health*, Instituts nationaux de la santé
- PCRDT : Programme Cadre pour la Recherche ou le Développement Technologique
- PNUE : Programme des Nations unies pour l'Environnement
- OGM : organismes génétiquement modifiés
- OMI : Organisation Maritime Internationale
- OMM : Organisation Météorologique Mondiale
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- ONG : organisation non gouvernementale
- OPECST : Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
- OSTP : *Office of Science and Technology Policy,* Bureau de la politique scientifique et technologique des Etats-Unis
- PMRC : Programme Mondial de Recherche sur le Climat
- PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- P3 ou P4 : laboratoire Pathogène de classe 3 ou 4
- R&D : recherche et développement
- RRI : *responsible research and innovation,* recherche et innovation responsables
- SAM : *Scientific Advice Mechanism,* Mécanisme de conseil scientifique de la Commission européenne
- SAPEA : *Science Advice for Policy by European Academies* du SAM, Conseils scientifiques pour la politique par les académies européennes
- SARS : *Severe Acute Respiratory Syndrome*, Syndrome respiratoire aigu sévère
- SCOPEX : *Stratospheric Controlled Perturbation Experiment,* Expérience de perturbation stratosphérique contrôlée
- SGDSN : Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale
- SHS: Sciences Humaines et Sociales
- SO_2 : dioxyde de soufre
- SRM : *Solar Radiation Modification* ; voir MRS
- UK : *United Kingdom*, Royaume-Uni

PERSONNALITES AUDITIONNEES OU CONSULTEES

- Francis Albarède, géochimiste, professeur émérite à l'Ecole normale supérieure de Lyon, membre de l'Académie des sciences
- Nicolas Arnaud, géologue, directeur de recherche au CNRS, directeur de CNRS Terre et Univers
- Patrick Berche, médecin, biologiste, ancien directeur général de l'Institut Pasteur à Lille
- Patrice Binder, médecin général inspecteur, médecin en chef militaire au Service de santé des armées
- Sandrine Bony-Lena, climatologue, directrice de recherche au CNRS, laboratoire de météorologie dynamique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, membre de l'Académie des sciences
- Olivier Boucher, directeur de recherche au CNRS, directeur adjoint de l'Institut Pierre-Simon Laplace
- Tom David, chargé de la prospective et de la technologique, Institut Montaigne

- Florence Debarre, biologiste, directrice de recherche au CNRS, Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris
- Etienne Decroly, virologue, directeur de recherche au CNRS, laboratoire Architecture et fonction des macromolécules biologiques à l'université d'Aix-Marseille
- Jean-François Delfraissy, médecin, immunologiste, président du Comité consultatif national d'éthique
- Jean-François Doussin, chimiste, professeur à l'université de Paris Est Créteil, directeur adjoint de CNRS Terre et Univers
- Ronaldus Fouchier, virologiste, directeur adjoint du Centre médical universitaire Erasmus de Rotterdam
- François Graner, biophysicien, directeur de recherche au CNRS, laboratoire Matière et systèmes complexes à l'université Paris Diderot
- Gigi K. Gronvall, immunologiste, Department of Environmental Health and Engineering, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health
- Marine de Guglielmo-Weber, chercheuse "environnement, énergie, matières stratégiques", Institut de recherche stratégique de l'école militaire (IRSEM)
- Philippe Hoest, biologiste, directeur de recherche au CNRS, chargé de mission biosécurité à CNRS biologie.
- Marie-Noëlle Houssais, physicienne océanographe, directrice de recherche au CNRS, Déléguée scientifique aux affaires polaires de CNRS Terre et Univers
- Jean Jouzel, paléo-climatologue, ancien vice-président du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, membre de l'Académie des sciences
- Alexandra Langlais, juriste, directrice de recherche au CNRS, Institut de l'Ouest droit et Europe
- Eric Lambin, géographe, Professeur à l'Université catholique de Louvain, membre du SAM.
- Pascal Lamy, président de l'Institut Jacques Delors, ancien directeur de l'OMC, ancien commissaire européen
- Michèle Leduc, physicienne, directrice de recherche au CNRS, ancienne présidente du COMETS
- Valérie Masson-Delmotte, paléo-climatologue, directrice de recherche au CEA, ancienne coprésidente du groupe n° 1 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- Anne-Laure Morin, juriste, directrice juridique adjointe de l'Institut Pasteur
- Michel Mortier, physicien et chimiste, directeur de recherche au CNRS, directeur général de la fondation du CNRS
- Françoise Praz, immunologiste, directrice de recherche au CNRS
- Angela L. Rasmussen, virologiste, Vaccine and Infectious Disease Organization, University of Saskatchewan
- François Ravetta, professeur de physique de l'atmosphère, Laboratoire Atmosphères et observations spatiales – LATMOS, CNRS
- Olivier Schwartz, immunologiste, directeur scientifique de l'Institut Pasteur
- Roland Séférian, climatologue, Météo-France
- Simon Wain Hobson, microbiologiste, professeur de rétrovirologie moléculaire à l'Institut Pasteur.