



HAL
open science

Du nanomètre au globe terrestre. Les limites planétaires face aux nanotechnologies

Stéphanie Lacour

► **To cite this version:**

Stéphanie Lacour. Du nanomètre au globe terrestre. Les limites planétaires face aux nanotechnologies. Le Bris-Hervé Catherine; Torre-Schaub Marta. Les limites planétaires à l'ère de l'anthropocène : enjeux et défis, Mare & Martin Editions, 2024, Institut des sciences juridiques et philosophique de la Sorbonne, 9782849347447. hal-04354263

HAL Id: hal-04354263

<https://hal.science/hal-04354263v1>

Submitted on 19 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Du nanomètre au globe terrestre. Les limites planétaires face aux nanotechnologies.

Stéphanie Lacour, DR CNRS, Institut des Sciences Sociales du Politique

UMR 7220 (ENS paris-Saclay, CNRS, Nanterre Université, Université Paris-Saclay)

Questionner les limites planétaires à l'aune du développement des nanotechnologies implique de prendre au sérieux le statut de deux objets qui, bien qu'opposés sur une échelle géographique, ont néanmoins un certain nombre de points communs. Bien qu'émergeant sur la scène publique dans des périodes – fin des années 1990 pour les nanotechnologies et fin des années 2000 pour les limites planétaires – et des espaces géographiques et sociaux différents¹, il s'agit, dans les deux cas, de concepts incorporant des seuils forgés par des scientifiques dans le but d'attirer l'attention des pouvoirs publics et d'influencer l'orientation des recherches et politiques à venir (1). Le succès politique de ces concepts a mené au développement d'un cadre juridique ambitieux pour les nanotechnologies dont il est légitime de se demander s'il est de nature à conforter la volonté affichée par l'Etat français de mieux maîtriser l'impact de la France vis-à-vis des différentes limites planétaires². Nous verrons que, bien qu'adoptées dans le cadre de politiques prenant la question écologique au sérieux, les lignes forces de ce cadre juridique n'ont pas placé la préservation de l'environnement au centre de leurs objectifs (2). De manière indirecte, toutefois, il est possible qu'en stimulant le développement des connaissances sur les briques de base nanométriques de la matière, ce cadre juridique soit en mesure de contribuer, pour l'avenir, à une meilleure gestion de la limite relative à l'introduction de nouvelles entités dans la biosphère (3).

1. Nanotechnologies, limites planétaires : des seuils forgés par les scientifiques pour interpeler les pouvoirs publics

Dans l'histoire des nanotechnologies comme dans celle des limites planétaires, les scientifiques ont articulé leur argumentation auprès de leurs pairs comme des pouvoirs publics autour de seuils positionnés comme témoins d'une rupture potentiellement majeure. Le seuil du nanomètre, dans le cas des nanotechnologies, illustre le passage de la physique classique à la physique quantique, une échelle auparavant inaccessible à l'instrumentation technique disponible, qui conférait aux promoteurs des nanotechnologies l'image de pionniers d'un monde nouveau³. L'introduction du concept de limites planétaires par les scientifiques du

¹ Si le mot « nanotechnologies » est apparu à la fin des années 1970 sous la plume d'un chercheur japonais faisant référence à l'échelle – naine - des objets étudiés et manipulés, la notion a en réalité pris son essor grâce à la campagne menée dans les années 1990 par la communauté scientifique sous l'impulsion d'un ancien professeur en ingénierie mécanique, chargé de programme à la NSF, Mihail Roco, qui a abouti à la création et au financement public de la *National Nanotechnology Initiative* américaine. Sur cette histoire, V. Brice Laurent, *Les politiques des nanotechnologies. Pour un traitement démocratique d'une science émergente*, Editions Charles Léopold Mayer, Paris, 2010, p. 21 et s.

² Cette volonté est clairement affichée, notamment, dans l'édition 2019 sur rapport « L'environnement en France » publié par le ministère de la transition écologique et solidaire à la documentation française (https://www.notre-environnement.gouv.fr/IMG/pdf/9782111570573_lenvironnementenfrance_edition2019_rapportdesynthese_v24_web_light.pdf)

³ V. Brice Laurent, op. cit. p. 28.

*Stockholm Resilience Center*⁴ a, quant à elle, constitué une nouvelle étape dans la production de recherches visant à énoncer et décrire le caractère fini des ressources dont notre planète terre est le réservoir⁵. Après les alertes du rapport Meadows⁶ et parallèlement à la mobilisation de la communauté internationale autour des rapports du GIEC, ce concept représentait une tentative, venue principalement des sciences de la terre et de l'univers, pour donner à la déstabilisation des paramètres biophysiques ayant permis la stabilité du système terre durant plusieurs millénaires la force d'un avertissement mobilisateur. Dépasser certains seuils relatifs à ces limites induirait en effet selon les auteurs du concept des « *modifications brutales, potentiellement catastrophiques et largement imprévisibles de l'environnement* »⁷ signant définitivement la sortie de l'holocène, période géologique durant laquelle notre planète, malgré des variations notables, s'est autorégulée pour se maintenir dans un état propre au développement des sociétés humaines.

Ces points communs, relevant tout à la fois du positionnement volontairement politique des promoteurs des concepts de limites planétaires, et des modalités procédurales qu'ils ont choisies pour les mettre à l'agenda, ont toutefois soulevé un certain nombre de critiques⁸. Certaines critiques relèvent de controverses scientifiques entre spécialistes des domaines concernés. Les calculs relatifs à la fixation des seuils relatifs aux limites planétaires font ainsi, encore aujourd'hui, l'objet de nombreuses discussions⁹, tout comme la question pourtant ancienne de l'intervalle dimensionnel à considérer pour la nano-échelle, qui demeure un critère central des définitions usitées dans le domaine des nanotechnologies¹⁰. D'autres critiques sont éclairantes pour l'analyse sociojuridique de ces concepts. En effet, en articulant autour de seuils fixés de manière unilatérale des discours destinés à orienter les politiques de leurs Etats et, plus largement, les politiques mondiales, les promoteurs des concepts de limites planétaires ont ignoré une part non négligeable des éléments qui devraient entrer en ligne de compte dans l'adoption de décisions importantes pour l'avenir de l'humanité. Ainsi en est-il de la nécessité d'ouvrir les débats relatifs à ces concepts et à leurs effets politiques beaucoup

⁴ V. Sandrine Maljean-Dubois, « Les limites planétaires, de la conceptualisation scientifique à l'agenda international ? », in *La définition des limites planétaires*, dir. S. Maljean-Dubois, Editions Pédone, 2023, p. 7 et s.

⁵ Aurélien Boutaud et Natacha Gondran. *Les limites planétaires*. La Découverte, collection « Repères écologie », 2020, 128 p.

⁶ Donella Meadows, Dennis Meadows, Jørgen Randers et William W. Behrens, « The Limits to Growth », Universe Books, 1972 ; traduction française, *Les Limites à la croissance (dans un monde fini)*, éd. Rue de l'échiquier, 2012.

⁷ J. Rockström et al., « Planetary boundaries : exploring the safe operating space for humanity », *Ecology and Society* 14(2) 2009, p. 32 (disponible en ligne <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>); J. Rockström et al., « A safe operating space for humanity », *Nature* (461) 2009, pp. 472-475.

⁸ Frank Biermann and Rakhyn E. Kim, « The Boundaries of the Planetary Boundary Framework: A Critical Appraisal of Approaches to Define a "Safe Operating Space" for Humanity », *Annual Review of Environment and Resources* 2020, Vol. 45, pp. 497-521.

⁹ Les premières furent publiées de manière concomitante à l'article fondateur de ce concept dans un autre journal de la revue *Nature*, V. David Molden, « Planetary boundaries: The devil is in the detail », *Nature Climate Change* 2009, Vol. 1, pp. 116–117.

¹⁰ En ce sens, V. l'Opinion du Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), « Scientific Basis for the Definition of the Term "nanomaterial" » du 8 décembre 2010 comme, tout récemment, l'avis de l'ANSES et le rapport d'expertise collective « Définition des nanomatériaux : analyse, enjeux et controverses. », Avril 2023, p. 78 et s. (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2018SA0168Ra.pdf>)

plus largement aux citoyens concernés¹¹, comme de prendre en considération la situation des pays du Sud¹² ou encore les risques – éthiques, sanitaires, économiques et sociaux – potentiellement associés aux développements politiques et/ou technologiques promus. Des concepts tels que ceux de nanotechnologies ou de limites planétaires sont forgés dans l’objectif d’orienter les politiques à long terme. Ils ne peuvent constituer la base d’une division du travail démocratiquement légitime entre les experts, les citoyens et les décideurs politiques que si un certain nombre de conditions sont remplies, qui sont loin de l’être lors de leur formulation initiale, quelles que soient les précautions adoptées par leurs promoteurs¹³. Les prendre pour acquis sans autre garantie, comme les auteurs du concept de limites planétaires semblent le demander lorsqu’ils affirment que « *les seuils dans les processus clés du système terrestre existent indépendamment des préférences, des valeurs ou des compromis des peuples basés sur la faisabilité politique et socio-économique* »¹⁴ reviendrait à valider un modèle d’expertocratie¹⁵ potentiellement contreproductif¹⁶.

C’est, par conséquent, en gardant en tête ces traits distinctifs des concepts de limites planétaires et de nanotechnologies qu’il convient de se pencher sur la question qui nous était posée, que nous nous proposons de reformuler de la manière suivante : l’encadrement juridique du développement des nanotechnologies est-il susceptible de maintenir leur impact sur l’environnement mondial dans les paramètres biophysiques de l’holocène tels qu’ils sont décrits au travers du concept de limites planétaires ?

2. Le cadre juridique du développement des nanotechnologies : de la bannière environnementale aux nécessités commerciales

La place que le concept de limites planétaires a acquise dans les politiques publiques françaises constitue sans doute le signe de son succès, un auteur en venant même à en

¹¹ Ouverture qui n’a, par ailleurs, rien d’évident, comme l’ont amplement démontré les multiples initiatives d’engagement du public via des débats, conférences de consensus ou d’autres modalités qui ont accompagné le développement des nanotechnologies aux Etats-Unis comme en Europe. Sur ce point, v. Nick Pidgeon et Tee Rogers-Hayden, « *Opening up nanotechnology dialogue with the publics: Risk communication or ‘upstream engagement’?* », *Health, Risk & Society*, 2007, Vol.9:2, pp. 191-210. Plus récemment, Bernadette Bensaude-Vincent, « *From Nano Backlash to Public Indifference: Some Reflections on French Public Dialogues on Nanotechnology* », *Nanoethics* 2021, vol.15(2),pp. 191-201.

¹² Jason Hickel, « *Is it possible to achieve a good life for all within planetary boundaries?* », *Third World Quarterly* 2019, Vol. 40:1, pp. 18-35. Le débat existe aussi au regard du développement des nanotechnologies, V. Doris Schroeder, Sally Dalton-Brown, Benjmain Schrempf et al. , « *Responsible, Inclusive Innovation and the Nano-Divide* », *Nanoethics* 2016, n°10, pp.177–188.

¹³ Ainsi, les promoteurs suédois du concept de limites planétaires précisait-ils en 2009 qu’ils renvoyaient en 2009 à des travaux ultérieurs l’analyse des dynamiques sociétales qui ont conduit à la situation actuelle ainsi que le soin de proposer des moyens permettant à nos sociétés de rester dans les limites tracées par leurs propres recherches, tout en insistant sur le fait que « *l’humanité doit [...] devenir un gestionnaire actif de toutes les frontières planétaires* », ce qui implique « *de profonds impacts sur la gouvernance environnementale, à l’échelle locale comme à l’échelle mondiale* ». V. J. Rockström et al., « *Planetary boundaries : exploring the safe operating space for humanity* », *Ecology and Society* 14(2) 2009, p. 32 (disponible en ligne <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>).

¹⁴ J. Rockström et al., 2009, op.cit.

¹⁵ Falk Schmidt, « *Governing planetary boundaries: Limiting or enabling conditions for transitions towards sustainability?* », in *Transgovernance Advancing Sustainability Governance*, ed. L Meuleman, 2013, pp. 215–234. Berlin: Springer.

¹⁶ Ulrich Brand et al., « *From planetary to societal boundaries: an argument for collectively defined self-limitation* », *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 2021, 17:1, pp. 264-291

qualifier la mention, depuis 2020, dans notre Code de l'environnement¹⁷, de « *sémantique de combat* »¹⁸. Il est donc légitime de se demander si le cadre juridique qui s'est progressivement construit autour du développement des nanotechnologies en France et en Europe, depuis le milieu des années 2000 est susceptible de garantir que ces limites, ou plus précisément les seuils d'alerte qui leur sont associés, ne soient pas atteints du fait de leurs produits.

Les déclarations d'intention et communications qui se sont multipliées au niveau européen à partir de 2004 au sujet des nanotechnologies, puis des nanomatériaux, reposaient toutes sur un discours commun qu'il est possible de synthétiser en deux étapes. Il s'agissait tout d'abord de s'assurer que l'excellence des recherches européennes en nanosciences se maintienne et se concrétise dans des produits et services viables d'un point de vue commercial, conformément aux objectifs du traité de Lisbonne¹⁹. Il s'agissait ensuite de faire en sorte que le développement des nanotechnologies, s'opère de manière intégrée, sûre et responsable. Ce second objectif fut répété à l'envi dans les communications consacrées au sujet, comme l'illustrent les quelques extraits repris ci-dessous.

Communication de la Commission du 12 mai 2004, « Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies »²⁰ : « *Les nanotechnologies doivent être développées de manière sûre et responsable. [...] Face à l'évolution rapide de cette technologie, il importe de recenser les problèmes de sécurité (réels ou perçus) et d'y apporter une réponse le plus précocement possible. Pour que l'exploitation des nanotechnologies soit un succès, elle doit s'appuyer sur de solides bases scientifiques propres à susciter la confiance des consommateurs et des marchés.* »

Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen et au Comité économique et social du 7 juin 2005, « Nanosciences et Nanotechnologies : un plan d'action pour l'Europe 2005-2009 »²¹ : « *Un élément essentiel de cette stratégie responsable pour les nanosciences et nanotechnologies est l'intégration de la santé, de la sécurité et des aspects environnementaux dans le développement technologique des N&N et l'établissement d'un dialogue efficace entre toutes les parties prenantes qui informe sur les progrès et les bénéfices escomptés et tienne compte des attentes et des préoccupations (réelles ou perçues comme telles), de manière à diriger les développements dans une voie qui préserve la société de leur incidence négative.* »

Communication de la Commission au Parlement Européen, au Conseil et au Comité économique et social européen du 17 juin 2008, « Aspects réglementaires des nanomatériaux »²² : « *Le défi réglementaire consiste donc à veiller à ce que la société puisse bénéficier des applications innovantes des nanotechnologies, tout en préservant un niveau élevé de protection de la santé, de la sécurité et de l'environnement.* »

¹⁷ Article L.110-1-1 du Code de l'environnement selon lequel « la transition vers une économie circulaire vise à atteindre une empreinte écologique neutre dans le cadre du respect des limites planétaires [...] »

¹⁸ Eric Naim-Gesbert, « Que sont les « limites planétaires » ? Pour une Pax natura à l'aune du Covid-19, Revue juridique de l'environnement, 2020/3 (Vol.45), pp. 419-423.

¹⁹ Traité modifiant le traité sur l'Union européenne et le traité instituant la Communauté européenne, signé à Lisbonne le 13 décembre 2007, Journal officiel des Communautés européennes 306, p. 1.

²⁰ COM (2004) 0338 final

²¹ COM (2005) 243 final

²² COM (2008) 366 final

Communication de la Commission au Parlement Européen, au Conseil et au Comité économique et social européen du 29 octobre 2009, « Nanosciences et nanotechnologies : un plan d'action pour l'Europe 2005-2009 – Second rapport de mise en œuvre 2007-2009²³ : « *D'un point de vue général, les nanotechnologies ont considérablement évolué ces deux dernières années, grâce à la nouvelle hausse des fonds alloués à la recherche et à l'élaboration active des politiques. De nouvelles applications et de nouveaux produits issus des nanotechnologies voient régulièrement le jour. Dans cette perspective, il convient de poursuivre les efforts pour répondre aux problèmes qui se posent pour la société et pour la sécurité, de façon à garantir le développement sûr et durable des nanotechnologies.* »

Les problématiques environnementales et sanitaires étaient donc au centre de l'attention des pouvoirs publics au moment même où ils exploraient la question de l'encadrement juridique des nanotechnologies. Force est de constater, toutefois, que le cadre qui s'est progressivement dessiné comme dérivant de cette politique intégrée, sûre et responsable ne s'est pas vraiment donné les moyens de gérer les effets potentiels des nanotechnologies sur l'environnement. Il serait fastidieux de résumer ici tous les détails de ce cadre juridique, aussi nous contenterons-nous d'en souligner quelques lignes forces illustrant notre propos.

Très tôt, tout d'abord, la décision fut prise de ne pas encadrer les nanotechnologies – auxquelles étaient pourtant dédiés les plans d'action et politiques de l'Union comme des Etats membres – mais uniquement les nanomatériaux. En témoignent les deux revues réglementaires opérées sur commande de la Commission en 2008 et 2012²⁴, qui ne portent que sur les nanomatériaux²⁵. Un tel choix peut sembler, de prime abord, relativement indifférent au regard du concept de limites planétaires. Il a toutefois pour conséquence d'écarter un certain nombre de secteurs économiques du champ de préoccupation ainsi redessiné. Ainsi en est-il des applications des nanotechnologies dans le domaine électronique, qui sont nombreuses. Ne relevant que de manière indirecte du domaine des nanomatériaux, elles sortent de ce fait du champ des préoccupations environnementales spécifiques qui auraient pu guider le législateur en considération de l'essor technologique qu'elles soutiennent. Or l'impact des infrastructures liées au déploiement du numérique constitue, comme le démontrent les études sur ce point de l'ARCEP et de l'ADEME, des sources de préoccupations croissantes²⁶ en matière environnementale.

²³ COM (2009) 607 final

²⁴ Communications de la Commission au Parlement Européen, au Conseil et au Comité économique et social européen, « Aspects réglementaires des nanomatériaux » du 17 juin 2008 (COM (2008) 366 final) et « Deuxième examen réglementaire relatif aux nanomatériaux » du 10 octobre 2012 (COM (2012) 0572 final).

²⁵ Sur cette question, V. Stéphanie Lacour et Camille Noûs, « Du « droit des livres » au « droit en actes » dans le champ de la régulation des nanomatériaux : changer de cadre d'analyse pour comprendre les évolutions en cours », Cahiers Droit, Sciences et Techniques 2020, Vol 10, pp.203-222.

²⁶ La note de synthèse publiée par l'ADEME et l'Arcep au mois de janvier 2022, « Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective » rappelle ainsi que « le numérique représenterait aujourd'hui 3 à 4 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le monde et 2 % de l'empreinte carbone au niveau national [... et son] empreinte carbone de celui-ci pourrait augmenter de manière significative si rien n'est fait pour la limiter (+ 60 % d'ici à 2040 soit 6,7 % de l'empreinte carbone nationale). Par ailleurs, le numérique comprend d'autres facteurs d'impact environnemental [...] »

(https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/etude-numerique-environnement-ademe-arcep-note-synthese_janv2022.pdf)

Ce choix s'est, ensuite, accompagné d'une autre décision, consistant à encadrer les nanomatériaux dans le cadre de législations sectorielles uniquement, que celles-ci soient relatives aux produits cosmétiques²⁷, aux matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires²⁸, à l'information des consommateurs sur ces dernières²⁹, à la mise sur le marché et l'utilisation de produits biocides³⁰ ou encore aux nouveaux aliments³¹. Or, les nanomatériaux entrent dans la composition de très nombreux produits de consommation courante qui ne relèvent d'aucune de ces législations.

A cet égard, il faut relever que l'adoption, en 2018, d'une modification des annexes du règlement REACH³² constitue une amélioration notable de la situation, puisque les « nanoformes »³³ de toutes les substances chimiques y font désormais l'objet d'une prise en compte spécifique. Toutefois, les seuils applicables dans le cadre de cette réglementation, qui ne rendent obligatoire la déclaration des substances qu'à partir du moment où ces dernières sont produites ou importées sur le territoire de l'UE au-delà d'une tonne par an et ne contraignent les déclarants à la fourniture d'un rapport de sécurité qu'au-delà de dix tonnes par an, seuils rarement atteints en matière de nanomatériaux³⁴, laissent espérer peu de progrès concrets en la matière.

Enfin, et c'est sans doute le problème majeur que soulève la réglementation des nanotechnologies telle qu'elle s'est construite en France et en Europe au regard du concept de limites planétaires, la plupart des règles contraignantes applicables aux nanomatériaux concernent, en réalité, les nanomatériaux manufacturés et n'encadrent pas le devenir de ces derniers après leur insertion dans les produits mis sur le marché. Ainsi, le Règlement relatif aux cosmétiques, qui prévoit une obligation de notification (art. 13) et d'étiquetage (art. 19) spécifiques concernant les nanomatériaux énonce-t-il, dans son article 2, qu'est un « *nanomatériau, un matériau insoluble ou bio-persistant, fabriqué intentionnellement et se caractérisant par une ou plusieurs dimensions externes, ou une structure interne, sur une échelle de 1 à 100 nm* ». Aucune de ses dispositions ne vise le sort des produits cosmétiques

²⁷ Règlement (CE) 1223/2009 du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques, JOUE L 342/59 du 9 décembre 2009.

²⁸ Règlement (UE) 10/2011 de la Commission concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires, JOUE L12/1 du 15 janvier 2011.

²⁹ Règlement (UE) 1169/2011 du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2011 concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires, JOUE L 304 22 novembre 2011.

³⁰ Règlement (UE) 528/2012 du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides, JOUE L 167 du 27 juin 2012.

³¹ Règlement (UE) 2283/2015 du 25 novembre 2015 relatif aux nouveaux aliments, JOUE, 11 décembre 2015, L 327/1.

³² Règlement (CE) n°1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques et Règlement (UE) 2018/1881 du 3 décembre 2018 modifiant les annexes I, III, VI, VII, VIII, IX, X, XI, et XII du règlement (CE) n° 1907/2006 (REACH), aux fins de couvrir les nanoformes des substances : JOUE n° L 308, 4 déc. 2018, p. 1.

³³ Lesquelles nanoformes sont définies dans le nouveau règlement par référence à la recommandation européenne de 2011 sur la définition des nanomatériaux, qui diffère, il faut le noter, de la définition du règlement Cosmétiques et, surtout, qui a elle-même été modifiée en 2022.

³⁴ V. Sonia Desmoulin et Tristan Berger, « Régulation juridique et nanosciences », Techniques de l'ingénieur, 10 septembre 2022.

après utilisation, alors même que la dissémination des nanomatériaux qu'ils peuvent contenir dans les eaux de baignade, notamment, a fait l'objet d'études inquiétantes³⁵.

De même, le règlement Novel Food³⁶, qui oblige les producteurs d'aliments contenant des nanomatériaux à obtenir une autorisation de mise sur le marché (art. 3) tout comme, par répercussion, le règlement INCO³⁷, qui énonce une obligation d'étiquetage spécifique concernant ces derniers (art. 18) ne concernent-ils que les nanomatériaux manufacturés et ne traitent-ils pas la question du cycle de vie de ces derniers, alors même, pour ne citer qu'un exemple, que leur présence dans les stations d'épuration des eaux usées est potentiellement problématique pour le fonctionnement de ces dernières et que, pour ceux qui ont effectivement été filtrés, leur épandage agricole via les boues d'épuration sont des sources d'écotoxicité dénoncées par l'OCDE depuis 2015³⁸.

Concernant le devenir des nanomatériaux après utilisation dans des produits encadrés par les réglementations sectorielles qui les visent spécifiquement, le système juridique n'est donc pas adapté. Les analyses en termes de cycle de vie qui ont été proposées pour remédier à cette situation³⁹ se heurtent toujours, à l'heure actuelle, à un échec similaire. En l'occurrence, il faut même relever que la France, pourtant à la pointe des législations européennes en matière de déclaration des nanomatériaux⁴⁰ grâce au dispositif mise en œuvre depuis les lois Grenelle⁴¹ a pareillement échoué à construire un régime propre à assurer le suivi des nanomatériaux manufacturés dans tous les compartiments de leur cycle de vie. L'une des raisons de cet échec réside dans le fait que la déclaration française ne cible pas tous les acteurs faisant partie de la chaîne de transmission des nanomatériaux. Elle s'arrête au dernier utilisateur professionnel, lequel n'est pas soumis à l'obligation de déclaration, ce qui rend, de fait, impossible l'identification des produits finis. L'ANSES souligne ainsi, dans l'avis qu'elle a publié au sujet de ce régime de déclaration que *« la complétude et la qualité des données recueillies aujourd'hui est encore insuffisante pour permettre leur pleine exploitation dans des études quantitatives, pour apprécier l'exposition du public, de salariés ou de l'environnement à des substances contenant des nanomatériaux ou pour alimenter de manière dynamique un dispositif national interconnecté de données en santé-environnement tel que défini dans les objectifs du PNSE4 »*⁴².

Au terme de ce rapide survol des législations adoptées en France et en Europe au sujet des nanotechnologies, il faut reconnaître que les dispositifs juridiques mis en place sont très

³⁵ V. par exemple Riccardo Catalano, Jérôme Labille et al. (2020). « Safety Evaluation of TiO₂ Nanoparticle-Based Sunscreen UV Filters on the Development and the Immunological State of the Sea Urchin *Paracentrotus lividus* », *Nanomaterials* 2020, vol.10, n°2102 ou encore, dans les piscines, Hamidreza Sharifan, David Klein, Audra N Morse, « UV filters interaction in the chlorinated swimming pool, a new challenge for urbanization, a need for community scale investigations », *Environ Res.*, 148:273-276, juillet 2016

³⁶ Règlement (UE) 2283/2015 op.cit.

³⁷ Règlement (UE) 1169/2011 op.cit.

³⁸ OCDE, Groupe de travail sur la productivité des ressources et les déchets, « Les nanomatériaux dans les flux de déchets », 9 novembre 2015 (ENV/EPOC/WPRPW(2015)10/FINAL)

³⁹ Alexandra Langlais, « Réflexions juridiques sur l'analyse du cycle de vie des nanomatériaux », *Techniques de l'ingénieur*, 10 avril 2014.

⁴⁰ Articles L523-1 à L523-8 et Articles R523-12 à D523-22 du Code de l'environnement.

⁴¹ Stéphanie Lacour, « Le régime de déclaration des substances à l'état nanoparticulaire », *JCP Entreprise et affaires*, 2012, n°16, pp.37-42.

⁴² Avis Anses, « Registre R-Nano. Évaluation des potentialités d'exploitation et de partage des données déclarées », nov. 2020, sur le site de l'agence (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2019SA0157Ra.pdf>)

loin, encore, de permettre une connaissance fine – et *a fortiori* un contrôle – des objets relevant de ces technologies qui pourraient avoir un impact sur les limites planétaires. Les investissements réalisés au profit du développement des nanotechnologies et les progrès enregistrés, au fil des années, dans la caractérisation des matériaux à cette échelle sont néanmoins des sources de connaissances utiles pour le contrôle des seuils associés aux limites planétaires.

3. Quelques raisons d’espérer : la construction d’un cadre normatif stimulant la production de connaissance sur les nanomatériaux

Comme le souligne Jérôme Rose⁴³, tel qu’il se présentait en 2009, le concept de limites planétaire comprenait déjà un item relatif à la production humaine de nouveaux composés chimiques. La seconde version de l’article fit évoluer le concept pour remplacer le processus « pollution chimique » par celui, plus large, d’introduction d’entités nouvelles dans la biosphère⁴⁴. Selon les auteurs, « *l’introduction anthropique de nouvelles entités dans l’environnement est préoccupante au niveau mondial lorsque ces entités⁴⁵ présentent (i) une persistance, (ii) une mobilité à travers les échelles avec pour conséquence une large répartition, et (iii) des impacts potentiels sur les processus ou sous-systèmes vitaux du système terrestre.* »

Selon les chercheurs du *Stockholm Resilience Center*, il n’était toutefois pas possible de fixer de seuils pour la limite relative à l’introduction de nouvelles entités, ce qui ne les empêchait pas, dès 2015⁴⁶ de présenter certaines actions de précaution et de prévention pouvant être envisagées pour limiter les effets de ces entités sur le système terre telles que développer la chimie verte, renforcer la réduction des risques dans d’autres domaines tels que la santé au travail, ou investir dans la science pour détecter le plus tôt possible leurs effets perturbateurs. Cette même équipe de recherche a franchi un nouveau cap en 2023⁴⁷, en publiant un nouvel article dans lequel les neuf processus cibles du concept de limites planétaires sont désormais associés à des seuils objectivés. La frontière relative aux entités nouvelles est désormais « *limitée aux introductions anthropiques véritablement nouvelles dans le système Terre* » : produits chimiques et substances synthétiques ; matières radioactives mobilisées de manière anthropique, organismes génétiquement modifiés et autres interventions humaines directes dans les processus évolutifs. Les conséquences qu’ils tirent de cette nouvelle définition sont également plus précises, puisque, selon eux, « *le seul espace opérationnel véritablement sûr capable de garantir le maintien de conditions similaires à celles de l’Holocène est [...] celui où ces entités sont absentes à moins que leurs impacts potentiels sur le système Terre n’aient été minutieusement évalués* ».

⁴³ Jérôme Rose, « Les « entités nouvelles » (molécules de synthèse, nanoparticules...) : l’impossible définition d’une limite ?, in Sandrine Maljean-Dubois (dir.) *La définition des limites planétaires ? Quelles implications pour le droit et la gouvernance internationale ?*, Ed. Pédone, 2023, p. 39 et s.

⁴⁴ Will Steffen et al., « *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet* », Science, 2015, Vol 347, Issue 6223, pp. 736-747.

⁴⁵ Ibid. ces nouvelles entités « incluent potentiellement des produits chimiques et d’autres nouveaux types de matériaux ou d’organismes artificiels inconnus auparavant du système Terre, ainsi que des éléments naturels (par exemple, des métaux lourds) mobilisés par les activités anthropiques. »

⁴⁶ Ibid.

⁴⁷ Katherine Richardson et al., « Earth beyond six of nine planetary boundaries », Science Advances Vol. 9 n°37, Sept. 2023, pp. 1-16.

Faisant référence aux travaux publiés en 2022 par Linn Persson et ses collègues⁴⁸, ils fixent donc le seuil applicable aux entités introduites dans la biosphère à « *la libération dans le système terrestre de 0 % de produits synthétiques non testés* », tout en reconnaissant que ce critère présente de nombreux inconvénients, les données de tests étant généralement incomplètes, ne prenant pas en considération les effets cocktail ni même toutes les formes de toxicité ou d'écotoxicité. En se basant sur les données issues de la mise en œuvre du règlement REACH, et constatant qu'environ 80 % des produits chimiques déclarés (ce qui ne recoupe qu'une fraction des produits chimiques introduits dans la biosphère) étaient utilisés depuis au moins 10 ans sans avoir encore fait l'objet d'une évaluation de sécurité, ils en déduisent que « *l'espace de fonctionnement sûr est actuellement dépassé* ».

Les nanomatériaux font clairement partie de l'ensemble des entités nouvelles introduites dans l'environnement dont les impacts potentiels sur le fonctionnement du système terrestre ne doivent pas être sous-estimés. Comme l'ensemble des substances chimiques, toutefois, et peut-être même davantage encore, puisque leur déclaration dans le cadre de REACH n'est réellement efficace que depuis le début de l'année 2020, comme nous l'avons vu, les connaissances dont nous disposons encore à l'heure actuelle les concernant demeurent très lacunaires. Cet état de fait regrettable est régulièrement rappelé par les agences sanitaires, partout dans le monde, qui traitent des risques associés à certains nanomatériaux ou à l'ensemble de ces derniers pour la santé au travail, en population générale ou même l'environnement. Comme nous l'avons vu précédemment, les réglementations adoptées en France et à l'échelle européenne ne couvrent qu'une partie de cette problématique et ignorent, en particulier, la question du cycle de vie et du devenir des nanomatériaux relargués après usage dans l'environnement, soit de manière intentionnelle (lorsqu'un produit phytosanitaire, par exemple, est épandu en plein champ) soit de manière incidente (lorsqu'un pneu dopé aux nanomatériaux s'use sur le bitume et que les débris qui résultent de ces frottements sont emportés par les eaux de pluie ou bien lorsque nous lavons des vêtements techniques contenant du nano-argent, pour ne prendre que des exemples bien connus).

Malgré toutes les critiques qu'il encourt, le cadre juridique qui s'est progressivement étoffé au sujet des nanomatériaux a néanmoins contribué à améliorer notre connaissance de ces produits. Ainsi, grâce au dispositif mis en place, en France, par la loi Grenelle II⁴⁹ et ses textes d'application⁵⁰, sommes-nous capables d'affirmer aujourd'hui qu'en 2021, 1203 entités françaises et 69 entités étrangères (principalement européennes) ont déclaré une ou plusieurs substances à l'état nanométrique en France pour un total stable d'environ 10 000 déclarations. L'ANSES souligne également, dans son rapport, que près de 70 % de ces déclarations indiquent des quantités inférieures à 1 tonne et ne seraient donc potentiellement pas concernées par la réglementation REACH et ses nouvelles annexes. En France, « *les entités productrices de nanomatériaux, qui contribuent en amont de la chaîne d'approvisionnement, sont issues principalement de l'industrie chimique, de la fabrication d'engrais, de matières plastiques de base, de colorants, de minéraux, et de substances inorganiques de base* » tandis

⁴⁸ Linn Persson et al., « Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities ». *Environ. Sci. Tech.* **56**, 1510–1521 (2022)

⁴⁹ La loi no 2010-788 du 12 juillet 2010 dite loi « Grenelle II » portant engagement national pour l'environnement

⁵⁰ Décret n°2012-232 du 17 février 2012 relatif à la déclaration annuelle des substances à l'état nanoparticulaire ; arrêté du 6 août 2012 relatif au contenu et aux conditions de présentation de la déclaration annuelle des substances à l'état nanoparticulaire.

que pour les entités importatrices, « *les secteurs d'activité sont plutôt l'industrie chimique, les pneumatiques, la recherche et développement, le commerce de gros et la fabrication de peintures, de vernis, d'encres et de mastics* ». L'agriculture, la sylviculture et la pêche sont, de loin, le secteur d'utilisation le plus déclaré pour les nanomatériaux sur notre territoire, ce qui correspond à des produits phytopharmaceutiques. Enfin, le volume total des quantités produites et importées déclarées a diminué de 17 % par rapport à 2020 pour un total de 286560 tonnes (contre 346168), l'agence relevant que cette diminution est principalement liée à cinq entreprises. De tels chiffres illustrent pleinement l'importance du marché des nanomatériaux et l'intérêt que nous avons tous à ce que leurs effets sur la santé, l'environnement et plus largement nos sociétés soient à l'avenir mieux connus et maîtrisés.

Malgré les lacunes qui demeurent à combler à cet égard, les efforts déployés par les chercheurs et les industriels pour répondre aux attentes des autorités publiques (obligations juridiques ou simples incitations politiques) en matière de caractérisation des nanomatériaux et d'étude des risques sanitaires et environnementaux qui leur sont associés sont utiles pour comprendre et mesurer les impacts de substances présentes dans l'environnement qui ne sont pas nécessairement produites et mises sur le marché en tant que nanomatériaux. Ainsi en est-il des nanoplastiques, produits de la dégradation de matières plastiques, qui constituent une réelle source de préoccupations dans les milieux marins notamment⁵¹, ou encore des poussières ultrafines présentes dans l'atmosphère⁵². L'intérêt des pouvoirs publics pour une meilleure gestion des effets de ces substances devrait s'en trouver renforcé, ce qui ne pourra que servir l'objectif visé par le concept de limites planétaires.

⁵¹ Sur les nanoplastiques, V. Adeline Arini, Julien Gigault, Zélie Venel, Anthony Bertucci, Magalie Baudrimont. The underestimated toxic effects of nanoplastics coming from marine sources: a demonstration on oysters (*Isognomon alatus*). *Chemosphere*, 2022, 303, pp.135-158. Sur les progrès des connaissances en matière d'écotoxicité des nanomatériaux, V. Mélanie Auffan, Lenka Brousset, Alain Thiéry, Mark R Wiesner, Jérôme Rose, et al.. « An integrated approach to assess the environmental risks of nanomaterials », *ICEENN 2018*, Durham, United States.

⁵² Francelyne Marano, « Des risques avérés aux risques suspectés : particules atmosphériques et nanoparticules manufacturées », *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 2021/4 (n° 104), p. 23-27.