

La santé environnementale : l'opportunité d'instaurer une gouvernance des risques multidimensionnelle et intégrée

Par Florence CARRÉ, INERIS
Jacques GARDON, IRD
Maud DÉVÈS, IPGP
Laure GIAMBERINI, Université de Lorraine
Christian MOUGIN, INRAE Versailles
Nicolas ECKERT, INRAE Grenoble
Et Gilles GRANDJEAN, BRGM

Dès 1990, l'OMS (1999) a perçu l'importance des déterminants environnementaux de la santé, ce qui l'a amenée à élargir sa définition de la santé de 1946 : « la santé environnementale comprend les aspects de la santé humaine, y compris la qualité de la vie, qui sont déterminés par les facteurs physiques, chimiques, biologiques, sociaux, psychosociaux et esthétiques de notre environnement. Elle concerne également la politique et les pratiques de gestion, de résorption, de contrôle et de prévention des facteurs environnementaux susceptibles d'affecter la santé des générations actuelles et futures. »

Partant du constat de l'impact de la qualité des écosystèmes sur la santé humaine, le concept d'exposome a émergé. Celui-ci est défini comme la totalité des expositions à des facteurs environnementaux que subit un organisme humain, depuis sa conception jusqu'à sa fin de vie en passant par le stade du développement *in utero* (Wild, 2005). La notion de « One health » élaborée par Zindsstag et collaborateurs (2011) insiste en outre sur la bidirectionnalité des relations et appelle à développer des approches intégrées pour garantir une santé environnementale globale (humaine, végétale, animale et écosystémique). À partir de différents exemples, nous questionnons ici le niveau d'intégration disciplinaire et spatio-temporelle nécessaire à la prise en compte et à l'opérationnalisation du concept de santé environnementale globale. Nous montrons ainsi que la santé environnementale offre un cadre d'actions pour répondre au besoin urgent du développement d'une gouvernance des risques multidimensionnelle et intégrée.

Bidirectionnalité des relations entre santé et environnement : des risques multiples à considérer

La bidirectionnalité des relations entre santé et environnement est illustrée ici à partir d'exemples s'intégrant dans les nouveaux enjeux de transition (énergétique, numérique et écologique) et dans le contexte des risques liés aux changements globaux.

Les transitions énergétique et numérique à travers le monde nécessitent d'accroître les stocks de terres rares (Huang *et al.*, 2016) et de métaux stratégiques comme le lithium (Baspineiro *et al.*, 2020). Vidal et collaborateurs (2013) estiment que durant les quinze prochaines années, on extraira plus de métaux que depuis le début de l'humanité. À ces besoins industriels, il faut ajouter la spéculation sur l'or, dont les cours atteignent des sommets avec pour conséquence la multiplication du nombre

de régions aurifères exploitées. Quel que soit le contexte, l'activité minière est associée à des risques pour les travailleurs et pour la population générale. Même si elles sont rares, les ruptures des bassins de décantation des eaux et boues produites par le traitement du minerai ont des conséquences aussi bien aiguës que chroniques (Kossoff *et al.*, 2014 ; Segura *et al.*, 2016). Les anciennes zones d'extraction ne sont pas toujours protégées (puits, galeries effondrées, bassins de décantation...), devenant ainsi une source de risques physiques notamment pour les enfants des communautés avoisinantes. Outre les dégâts physiques, une des spécificités de la pollution minière est sa rémanence à travers les risques environnementaux et sanitaires chroniques liés aux pollutions chimiques, lesquelles sont souvent difficiles à évaluer (Camiluzi *et al.*, 2021). Malgré les efforts parfois consentis, la remédiation est souvent imparfaite, permettant aux drainages des mines et à l'érosion éolienne de disperser dans l'environnement des éléments métalliques toxiques. Pour les travailleurs, les risques sanitaires sont liés à des maladies professionnelles reconnues. En revanche, pour la population générale, l'établissement de relations causales entre exposition et conséquences sanitaires est souvent discuté ; et ce d'autant plus que dans les pays du Sud, là où l'activité minière est très intense, il n'existe pas de registre des maladies et de statistiques de santé pouvant mettre en exergue les relations entre l'extraction minière et la santé des populations environnantes. Néanmoins, des évaluations indirectes des risques par application de modèles d'exposition aux polluants miniers (Bonnard et McKone, 2009), comme la biosurveillance des populations locales mesurant sur plusieurs pas de temps leurs niveaux d'exposition à partir de prélèvements de sang ou d'urine (Barbieri *et al.*, 2016) ou encore les mesures d'exposition aux polluants (Olufemi *et al.*, 2019) permettent d'évaluer l'effet des polluants miniers sur la santé des populations, notamment des plus vulnérables, comme les femmes enceintes ou les enfants. Les effets relevés sur la santé s'expriment aussi bien à court terme, avec des blessures et des pertes de vie, qu'à long terme, avec des cancers, des troubles respiratoires, tels que la silicose, l'asbestose et la pneumoconiose, et des troubles cognitifs et psychiatriques (Emmanuel *et al.*, 2018 ; Stephens et Ahern, 2001).

Outre cet exemple illustrant l'impact des activités anthropiques sur l'environnement, puis sur la santé, les aléas naturels peuvent également avoir un effet négatif sur cette dernière. C'est le cas, par exemple, de l'activité volcanique. Au niveau mondial, au moins 500 millions de personnes sont exposées à des volcans actifs (à noter que les outremer français comptent de nombreux volcans actifs, dont quatre le sont tout particulièrement aujourd'hui). Les régions volcaniques sont souvent densément peuplées, les volcans sont donc une menace pour les populations locales. Par ailleurs, les dispersions des gaz ou des cendres volcaniques peuvent s'étendre sur des zones distantes de centaines, voire de milliers de kilomètres du cratère, et même se faire ressentir à l'échelle mondiale en raison de leurs impacts sur le climat (Hansell *et al.*, 2006). Aux effets directs de l'activité volcanique sur la santé, s'ajoutent les effets indirects dus aux éventuels glissements de terrain,

coulées de boue, coupures de courant, contamination de l'eau potable et déplacements massifs de personnes avec leur cortège d'aléas sociaux, économiques, sanitaires, etc. Ainsi, les effets sur la santé d'événements souvent perçus comme paroxysmaux mais de courte durée s'inscrivent non seulement dans le court terme mais aussi dans le long terme, et elles sont protéiformes : des brûlures, des blessures dues aux chutes ou aux accidents de véhicules liés aux conditions de circulation rendues difficiles par les cendres ; mais ce sont aussi les maladies infectieuses, les maladies respiratoires... Ces effets peuvent être atténués par des plans de prévention et de gestion des différents risques identifiés (Hansell *et al.*, 2006). Toutefois, il existe parfois des bénéfices à l'occupation de certaines zones à risque. Pour reprendre l'exemple des volcans, la plupart des sols volcaniques – ou andosols – présentent d'excellentes propriétés physiques qui les rendent désirables pour de nombreux usages. D'un point de vue agronomique, du fait de leur grande capacité de rétention de l'eau, de leur conductivité hydraulique élevée et de l'importante variabilité latérale des horizons pédologiques, ces sols sont parmi les plus fertiles de la planète et sont donc intensément cultivés, même si leurs usagers sont conscients des risques volcaniques (les risques de glissements de terrain, notamment) qu'ils encourent (Verheye, 2009). Cette grande fertilité contribue à nourrir de nombreuses personnes et participe ainsi à leur santé et à leur bien-être. Ainsi, la balance bénéfice-risque peut être complexe à établir étant dépendante de l'échelle considérée (individu, population, durée temporelle, etc.).

Concernant l'effet des activités liées à la santé humaine sur l'environnement, les résidus de médicaments font l'objet d'une préoccupation majeure lorsqu'ils pénètrent dans les systèmes d'eau douce (OECD, 2019). En effet, les systèmes de traitement de l'eau ne sont pas conçus pour éliminer entièrement l'ensemble des résidus de médicaments, conduisant ainsi à la diffusion de ces molécules actives dans les eaux douces. Les concentrations de ces polluants peuvent atteindre quelques milligrammes par litre dans les effluents industriels et les cours d'eau de certains pays comme les États-Unis, la Chine, la Corée, Israël ou l'Inde (Larsson, 2014). Ces mesures sont d'ailleurs souvent sous-estimées, puisque tous les types de résidus ne sont aujourd'hui pas totalement connus et ne sont donc pas mesurés. Ces médicaments ont été conçus pour agir à de faibles doses afin d'atteindre et d'interagir avec des molécules-cibles ; ainsi les mêmes réponses observées chez l'homme peuvent se retrouver pour la (micro)faune aquatique entraînant des effets mutagènes (par exemple, avec les produits anticancers), des perturbations endocriniennes comme une baisse de reproductivité (par exemple, avec la pilule contraceptive) ou encore un phénomène d'antibiorésistance (par exemple, avec les antibiotiques). Sachant que ces polluants sont multiples, ils peuvent agir en synergie ou en antagonisme sur la (micro)faune. Ces effets cocktail sont difficiles à modéliser du fait que les effets d'un même type de résidus peuvent être hautement variables en fonction de son degré de dégradation dans le milieu et de métabolisation, et du degré de maturité de l'espèce-cible (Vasquez *et al.*, 2014). Or, ac-

céder à une meilleure connaissance des effets permet de prioriser la remédiation des substances et de mieux gérer les risques. Les effets de ces résidus sont bien souvent transgénérationnels, décimant ainsi des populations entières d'espèces (Schwindt *et al.*, 2014). Outre les effets sur l'environnement, il est observé une superposition temporelle des pics d'épidémies et de plus grandes concentrations de résidus dans les eaux de surface (Hong *et al.*, 2020). À moins que des mesures soient prises, la situation devrait empirer avec l'utilisation croissante de produits pharmaceutiques en lien avec la croissance économique, le vieillissement de la population et les progrès dans les soins de santé (OECD, 2019).

Ces différents exemples montrent que les interactions entre la santé humaine et l'environnement sont bidirectionnelles et complexes avec des phénoménologies spatiales, aussi bien locales que globales, et temporelles, et étant aussi bien instantanée qu'agissant à l'échelle pluridécennale. Dans ces interactions, il peut y avoir des effets négatifs pour l'homme, mais, au contraire, positifs pour l'environnement ; des effets négatifs pour l'homme, mais qui, par rétroaction, pourraient lui être positifs mais sur un plus long terme. Ainsi, il faut pouvoir raisonner sur les risques (en parallèle ou en série), de façon globale et sur de longues échelles de temps, pour gérer au mieux les territoires dans un objectif de durabilité.

Vers un cadre de gouvernance des risques à la fois multidimensionnel et intégré

Les exemples présentés dans la section précédente mettent en exergue, pour chaque problématique, la multiplicité des disciplines concernées : sciences de la Terre, climatologie, sciences marines, (éco)toxicologie expérimentale et numérique, physico-chimie et métrologie de l'environnement, épidémiologie... Chacune de ces disciplines se réfère encore trop à son propre cadre réglementaire, agit en fonction de ses propres concepts, de son propre vocabulaire et de ses propres modèles d'évaluation du risque, qui eux-mêmes sont liés au cœur de cible de chacune d'elles : norme exprimée en durée de retour pour les géosciences, en concentration pour les chimistes, en pertes acceptables pour les financiers, etc. Il faut donc pouvoir décroiser ces différents silos en travaillant systématiquement sur des projets communs de gestion territoriale. Une telle perspective se décline au niveau international à l'horizon 2030 au travers des domaines communs couverts par les dix-sept objectifs de développement durable (ONU, 2015) et le cadre de Sendai (UNISDR, 2015) visant à réduire les catastrophes naturelles et leurs impacts. Au niveau national, le droit applicable aux installations classées pour la protection de l'environnement, principalement régies par le Code de l'environnement, garantit la minimisation des risques technologiques et environnementaux engendrés par ces installations. Par ailleurs, la loi de santé de 2016, opérationnellement déclinée dans le cadre du 4^{ème} Plan national santé-environnement, est également une belle opportunité de travailler à l'amélioration de la compréhension des relations entre la santé et l'environnement.

À cet effet, il y est proposé de développer des observatoires interopératoires permettant de surveiller l'état de l'environnement (Green Data Hub) et l'état sanitaire de la population (Health Data Hub), ainsi que la standardisation des méthodes d'analyse pour pouvoir comparer les données et évaluer leur évolution spatio-temporelle. Au niveau européen, les mêmes initiatives sont relayées au sein du Partenariat européen pour l'évaluation des risques liés aux substances chimiques (PARC), auquel participent de nombreux instituts de recherche français travaillant sur la santé environnementale.

L'enjeu scientifique lié au développement d'un cadre de gouvernance des risques à la fois multidimensionnel et intégré est de pouvoir, pour chaque scénario de gestion, analyser les phénomènes mis en jeu dans leur dimension spatiale la plus large et d'en évaluer les risques et les bénéfices à court et long termes. Au niveau méthodologique, les normes ISO/IEC Guide 73 :2009 et ISO/IEC Guide 31010 :2009, ainsi que le guide de l'UNISDR sur la terminologie de réduction de risques de catastrophes naturelles (UNISDR, 2009) permettent de cadrer à la fois le vocabulaire et les méthodes d'évaluation des risques. Pour chaque scénario, une métrique d'analyse doit être développée au regard des objectifs de gestion et de durabilité afin de cumuler le mieux possible les différents impacts environnementaux et sanitaires. Cette métrique doit être le reflet non seulement des différentes disciplines scientifiques mobilisées, mais également de la perception qu'ont les gestionnaires et les parties prenantes du territoire des différents risques auxquels ils sont confrontés. Ces interactions entre scientifiques et acteurs du territoire appellent à une nécessaire acculturation aux risques environnementaux et sanitaires, pour que toute décision prise soit la plus éclairée possible. La formalisation et la mise en œuvre d'une telle philosophie intégratrice restent toutefois un formidable défi. Des cadres conceptuels émergent actuellement pour traduire la complexité des interrelations inhérentes aux systèmes multirisques (voir, Pescaroli et Alexander, 2018 ; Zuccaro *et al.*, 2018 ; Curt, 2020), mais ils restent à ce stade peu mis en pratique et d'une appropriation faible par les praticiens.

Conclusion

À partir des différents exemples en lien avec la santé environnementale qui précèdent, nous avons démontré à quel point la complexité des relations entre la santé et l'environnement appelle à un maximum d'intégration disciplinaire et spatio-temporelle pour éclairer le plus possible la prise de décisions compatibles avec les objectifs de développement durable. Des cadres conceptuels et applicatifs sont en train d'émerger. Ils posent les bases d'une future gouvernance des risques à la fois multidimensionnelle et intégrée. Nos exemples illustrent toutefois qu'il reste nécessaire de les étendre et de les opérationnaliser de façon à les adapter, notamment à des situations de bénéfice-risque complexes. Il s'agit d'un besoin immédiat et crucial dans le contexte actuel d'urgence environnementale généralisée.

Références

- BARBIERI F. L., GARDON J., RUIZ-CASTELL M., PACO V. P., MUCKELBAUER R., CASIOT C., FREYDIER R., DUPREY J.-L., CHEN C.-M., MÜLLER-NORDHORN J. & KEIL T. (2016), "Toxic trace elements in maternal and cord blood and social determinants in a Bolivian mining city", *International Journal of Environmental Health Research* 26(2), pp. 158-174, <https://doi.org/10.1080/09603123.2015.1061114>
- BASPINEIRO C. F., FRANCO J. & FLEXER V. (2020), "Potential water recovery during lithium mining from high salinity brines", *Science of the Total Environment* 720, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137523
- BONNARD R. & MCKONE T. E. (2009), "Integration of the Predictions of Two Models with Dose Measurements in a Case Study of Children Exposed to the Emissions from a Lead Smelter", *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 15(6), pp. 1203-1226, <https://doi.org/10.1080/10807030903304849>
- CAMIZULI E., ROSSI M. & GASQUET D. (2021), "Trace metals dispersion from 1000 years of mining activity in the northern French Alps", *The Extractive Industries and Society* 8(1), pp. 135-146.
- CURT C. (2021), "Multirisk: what trends in recent works? – A bibliometric analysis", *Science of The Total Environment* 763, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142951>
- EMMANUEL A. Y., JERRY C. S. & DZIGBODI D. A. (2018), "Review of Environmental and Health Impacts of Mining in Ghana", *Journal of Health & Pollution* 8(17), pp. 43-52, <https://doi.org/10.5696/2156-9614-8.17.43>
- HANSELL A. L., HORWELL C. J. & OPPENHEIMER C. (2006), "The health hazards of volcanoes and geothermal areas", *Occupational and Environmental Medicine* 63(2), pp. 149-156, <https://doi.org/10.1136/oem.2005.022459>
- HONG B., YU S., NIU Y., DING J., LIN Q., LIN X. & HU W. (2020), "Spectrum and environmental risks of residual pharmaceuticals in stream water with emphasis on its relation to epidemic infectious disease and anthropogenic activity in watershed", *Journal of Hazardous Materials* 385 121594, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121594>
- HUANG X., ZHANG G., PAN A., CHEN F. & ZHENG C. (2016), "Protecting the environment and public health from rare earth mining", *Earth's Future* 4(11), pp. 532-535, <https://doi.org/10.1002/2016EF000424>
- KOSSOFF D., DUBBIN W. E., ALFREDSSON M., EDWARDS S. J., MACKLIN M. G. & HUDSON-EDWARDS K. A. (2014), "Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation", *Applied Geochemistry* 51, pp. 229-245, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010>
- LARSSON D. G. J. (2014), "Pollution from drug manufacturing: Review and perspectives", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 369(1656) 20130571, <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0571>
- ISO/IEC (2009), "Guide 73:2009. Risk management – Vocabulary", International Organization for Standardization.
- ISO/IEC (2009), "Guide 31010:2009. Risk management – Risk assessment techniques", International Organization for Standardization.
- OECD (2019), "Pharmaceutical Residues in Freshwater: Hazards and Policy Responses", <https://doi.org/10.1787/c936f42d-en>
- OLUFEMI A. C., MJI A. & MUKHOLA M. S. (2019), "Health risks of exposure to air pollutants among students in schools in the vicinities of coal mines", *Energy Exploration & Exploitation* 37(6), pp. 1638-1656, <https://doi.org/10.1177/0144598718765489>
- OMS (1999), "Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies", Genève.
- ONU (2015), « Les Objectifs de développement durable », *Développement durable*, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>
- PESCAROLI G. & ALEXANDER D. (2018), "Understanding compound, interconnected, interacting, and cascading risks: a holistic framework", *Risk analysis* 38(11), pp. 2245-2257.
- SCHWINDT A. R., WINKELMAN D. L., KETELES K., MURPHY M. & VAJDA A. M. (2014), "An environmental oestrogen disrupts fish population dynamics through direct and transgenerational effects on survival and fecundity", *Journal of Applied Ecology* 51(3), pp. 582-591, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12237>
- SEGURA F. R., NUNES E. A., PANIZ F. P., PAULELLI A. C. C., RODRIGUES G. B., BRAGA G. Ú. L., DOS REIS PEDREIRA FILHO W., BARBOSA F., CERCHIARO G., SILVA F. F. & BATISTA B. L. (2016), "Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil)", *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)* 218, pp. 813-825, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.005>
- STEPHENS C. & AHERN M. (2001), "Worker and Community Health Impacts Related to Mining Operations Internationally", *Mining, Minerals and Sustainable Developme.* 25, 59 pages, <https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G01051.pdf>
- UNISDR (2009), "Terminology: Basic Terms of Disaster Risk Reduction", <http://www.unisdr.org/we/inform/terminology>
- UNISDR (2015), « Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 », 40 pages, https://www.unisdr.org/files/43291_frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf
- VASQUEZ M. I., LAMBRIANIDES A., SCHNEIDER M., KÜMMERER K. & FATTA-KASSINOS D. (2014), "Environmental side effects of pharmaceutical cocktails: What we know and what we should know", *Journal of Hazardous Materials* 279, pp. 169-189, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.069>
- VERHEYE W. H. (2009), *Land Use, Land Cover and Soil Sciences – Volume VII: Soils and Soil Sciences – 2*, EOLSS Publications.
- VIDAL O., GOFFÉ B. & ARNDT N. (2013), "Metals for a low-carbon society", *Nature Geoscience* 6(11), pp. 894-896, <https://doi.org/10.1038/ngeo1993>
- WILD C. P. (2005), "Complementing the Genome with an "Exposome": The Outstanding Challenge of Environmental Exposure Measurement in Molecular Epidemiology", *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers* 14(8), pp. 1847-1850, <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-05-0456>
- ZINSSTAG J., SCHELLING E., WALTNER-TOEWS D. & TANNER M. (2011), "From 'one medicine' to 'one health' and systemic approaches to health and well-being", *Preventive Veterinary Medicine* 101(3), pp. 148-156, <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.07.003>
- ZUCCARO G., DE GREGORIO D. & LEONE M. F. (2018), "Theoretical model for cascading effects analyses", *International journal of disaster risk reduction* 30, pp. 199-215.