

FONCTIONNEMENT ET DYSFONCTIONNEMENTS DE L'ENVIRONNEMENT

par Marcel DELPOUX¹

Pendant plusieurs millions d'années après l'accrétion du globe terrestre, il y a 4,6 milliards d'années, l'environnement régnant à sa surface a été abiotique, à cause, entre autres, de ses très hautes températures. Ses trois constituants de surface, solide (lithosphère), liquide à gazeux (hydrosphère) et gazeux (atmosphère), évoluaient sous l'action, stricte, de facteurs physico-chimiques. Des traces de matière organique sont repérés dans des couches géologiques vieilles de 3,8 milliards d'années, révélant l'existence d'êtres vivants n'ayant laissé aucune trace fossile. La présence, dans l'atmosphère primitive, de méthane (CH_4) et d'hydrogène sulfuré (H_2S) pourrait, cependant, correspondre à des substances résultant du métabolisme de micro-organismes anaérobies (bactéries et archées), constituants procaryotes primitifs de la biosphère. Cette base biologique discrète est le point de départ de « l'épopée » ou de « l'odyssée » de cette nouvelle composante superficielle et originale du globe terrestre.

Elle s'est insinuée dans les composantes abiotiques primitives et elle a interagi directement ou indirectement avec des facteurs extra-terrestres comme le rayonnement solaire et au-delà avec le rayonnement cosmique d'origine galactique et extra-galactique (figure 1 - Delpoux, 50 ,2017). Ces derniers, en l'absence de champ magnétique terrestre pendant le premier milliard et 100 millions d'années, irradient les composants superficiels de la Terre, y compris la biosphère naissante, protégée cependant en partie par l'eau dans laquelle elle a probablement fait son apparition. Cette irradiation intense a pu contribuer à l'apparition et à la diversification spécifique des taxons exposés. Quand elle diminue après la mise en place, un milliard et 500 millions d'années après l'accrétion du globe terrestre du bouclier magnétique, l'évolution biologique continue et, 800 millions d'années après, les cyanobactéries apparaissent. Elles sont porteuses d'une molécule nouvelle, la chlorophylle. Grâce à elle, elles sont douées d'une fonction nouvelle : l'assimilation chlorophyllienne dont le fonctionnement se traduit par le rejet, dans les milieux de vie, de l'oxygène gazeux (O_2). Ce gaz est un poison pour toutes les espèces strictement anaérobies, évoluant jusqu'à l'apparition des cyanobactéries. Leur disparition n'est pas immédiate car l'oxygène gazeux est d'abord utilisé pour oxyder les composants réduits, notamment le fer, de l'écorce terrestre. Lorsque l'oxydation est terminée, l'oxygène est libéré dans l'eau et dans l'atmosphère. Ce gaz y atteint assez

1. Résumé d'une communication présentée à l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse à la séance du 23 mai 2024. Cette communication est développée dans un texte détaillé relatif au fonctionnement de l'environnement et à ses dysfonctionnements, disponible en ligne : «https://www.academie-sciences-lettres-toulouse.fr/fonds_documentaire/activites/publications_des_membres/Delpoux/MDelpoux2024.pdf»

rapidement la teneur connue de nos jours (21 %). Par ailleurs, l'interaction entre cet oxygène et les UV d'origine solaire met en place, entre deux et un milliard d'années, à l'altitude de 30 km, d'une couche d'ozone (O_3) ajoutant sa protection à l'égard des UV solaires à celle du bouclier magnétique terrestre.

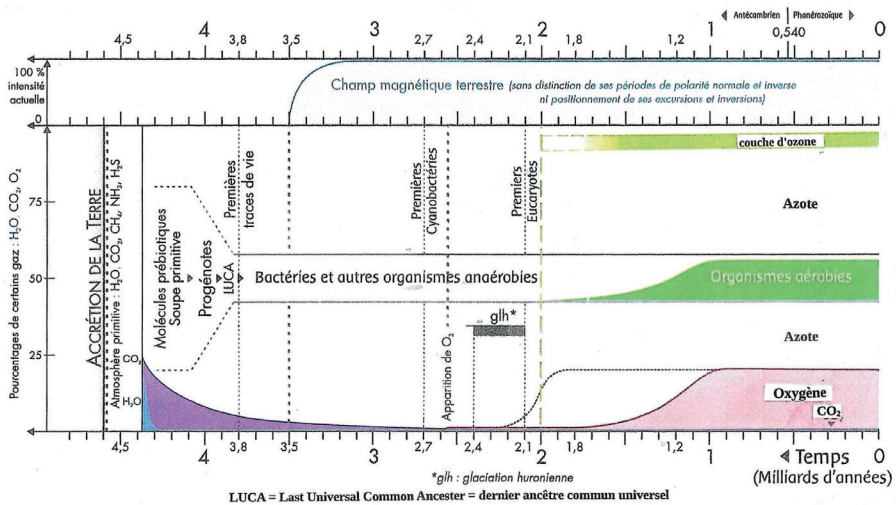


Fig. 1 : positionnement de quelques facteurs écologiques et biologiques au cours de l'évolution du globe terrestre de son accrétion à nos jours (d'après M. Delpoux, 2017)

Six cent millions d'années après l'apparition des cyanobactéries apparaît le modèle biologique eucaryote qui se distingue du modèle procaryote par plusieurs caractères, comme celui de posséder un noyau maintenant les chromosomes dans une membrane nucléaire. Ce nouveau modèle enrichit aussi sa structure et son métabolisme en intégrant, dans son cytoplasme, les génomes d'archées et/ou de bactéries sous forme de mitochondries ou de chloroplastes (endosymbioses). C'est le point de départ d'une exubérance créatrice qui, en milieu aquatique, voit apparaître, en mélange et/ou en compétition avec les modèles unicellulaires anciens, de nouvelles espèces uni- ou multicellulaires (animaux, algues, champignons). La vie pullule dans les espaces aquatiques. Elle cerne les terres émergées.

Entre 540 et 500 millions d'années avant le présent, avec des « stratégies » variées pour coloniser les milieux terrestres dans lesquels, de l'équateur aux pôles, des basses aux plus hautes altitudes, des déserts aux terres les plus fertiles, des milieux très éclairés à l'obscurité totale des milieux cavernicoles, des espèces vivantes adaptées apparaissent : hépatiques et mousses, ptéridophytes, gymnospermes, angiospermes, champignons ou symbiotiques (lichens). Liée à la grande diversité écologique des biotopes, une grande biodiversité est observée. Grâce à des fossiles désormais mieux conservés et plus nombreux, l'histoire de cette dernière période est mieux connue. Les paléontologues ont mis en évidence, après une conquête discrète, un foisonnement d'espèces et de modèles biologiques nouveaux. Ils ont aussi démontré que, à travers le temps, des modèles anciens ont disparu : trilobites à la fin de l'ère primaire, dinosaures de type reptilien, ammonites, rudistes, etc., à la fin de l'ère secondaire, lion des cavernes, mammoth au pléistocène du quaternaire, chez les animaux ; diverses espèces de cycadales à la fin du primaire, fougères à graines vers la fin du secondaire, etc., chez les végétaux.

À chaque étape de l'évolution, des espèces s'éteignent et cinq grandes extinctions ont été observées du Primaire au Tertiaire. La plus drastique s'est produite à la limite permien-trias (-252 millions d'années). La plus célèbre est celle de la limite crétacé-tertiaire (-66 millions d'années) qui a vu disparaître les dinosaures reptiliens et beaucoup d'autres espèces. Après chaque hécatombe, la biosphère se relève et l'évolution continue de façon quelquefois exubérante. Au total, les constituants de cette structure vivante s'adaptent aux caractéristiques écologiques des biotopes. Toute nouvelle espèce doit s'intégrer dans la structure (paysage) et dans le fonctionnement (écosystème) de la biocénose qui l'accueille. Des millions l'ont fait au cours de la longue histoire de la biosphère y compris celles appartenant à un genre émergeant très tardivement dans l'environnement terrestre : le genre *Homo* dont le premier représentant est *Homo rudolfensis*, apparu il y a environ 2,4 millions d'années en Afrique de l'est.

C'est le point de départ d'une évolution rayonnante qui a conduit à l'émergence d'*Homo sapiens*, il a 300 000 ans. C'est la seule espèce survivante des dix à quatorze (suivant les auteurs) autres espèces du genre *Homo* qui l'ont précédée. Elle s'inscrit dans les paysages au début du paléolithique moyen (350 000 ans à 45 000 avant le présent) avec un comportement de chasseur-cueilleur hétérotrophe comme les animaux omnivores. Par contre, elle laisse des traces d'une « industrie » lithique perfectionnée qui lui permet d'améliorer les techniques de chasse. Parallèlement, un habitat avec cabanes ou foyers est construit. Des préoccupations esthétiques sont démontrées par des gravures et des incisions non figuratives. Ces faits démontrent l'existence de capacités cognitives qui vont s'avérer plus grandes vers la fin du paléolithique moyen. Elles vont s'amplifier au paléolithique supérieur (45 000 à 12 000 ans BP) comme le démontrent la diversification des techniques de fabrication de nouveaux outils comme les propulseurs de flèches. Alors que les hommes de Néandertal s'éteignent, des *Homo sapiens* venus des Balkans montrent un développement cérébral identique à celui des hommes actuels.

Ils sont désormais seuls, sous un climat post-glaciaire, dans la dernière phase de la conquête des milieux de la planète Terre. Leur esprit inventif en fait les acteurs de la « révolution » du néolithique, fondée sur l'agriculture et l'élevage, conduisant à la sédentarisation et à la généralisation des innovations techniques des périodes antérieures : outillage en pierre polie, poterie, tissage, développement de l'architecture, etc. Il s'ensuit une embellie démographique et une pression plus forte sur la structure et le fonctionnement de l'environnement dont les ressources sont de plus en plus exploitées. Par la suite, des inventions de plus en plus efficaces, quantitativement et qualitativement, accélèrent la pression humaine sur les ressources et les potentialités (limitées) de la planète. Au cours des derniers millénaires, l'humanité est passée de quelques millions d'habitants à la fin du néolithique à 8 milliards de nos jours et les prévisions annoncent des augmentations gigantesques.

La figure 2 (Delpoux et Trochain, 1972, 27) permet de faire une analyse fine de la structure et du fonctionnement de l'environnement externe du globe terrestre et des causes de ses dysfonctionnement à l'époque actuelle. Contrairement aux apparences, de la lithosphère à la biosphère, en passant par l'hydrosphère et l'atmosphère, des processus dynamiques, simples à complexes, lient les différents constituants des couches externes du globe terrestre : des mouvements des grandes masses d'air aux chaînes de synthèse microscopiques s'exprimant dans les structures les plus intimes de la matière vivante, des transferts et/ou des échanges de matière ou d'énergie ont été mis en évidence. Leur diversification est liée à l'évolution interne des populations urbaines, hyper spécialisées, inventives et créatrices de besoins nouveaux (loisirs au sens large, enseignement,

recherche, commerce, guerres, voyages, artisanat, médecine, pharmacie, gastronomie, arts, sports, industries, etc.) complètement distincts des besoins biologiques de base. Ces derniers sont, assez paradoxalement, de plus en plus inégalement satisfaits suivant les régions du globe à la suite de dysfonctionnements liés à la perversion des systèmes d'appropriation, voire de confiscation par la ruse ou la violence.

Des écosystèmes nouveaux, cultivés, urbanisés, industrialisés ont spectaculairement et, ces trois derniers siècles, exponentiellement grandi, parallèlement à l'évolution des sociétés humaines évoquées ci-dessus. Au-delà de la mise en place de structures et superstructures, des utilisations et même des productions de substances ou facteurs immatériels nouveaux ont fait leur apparition dans l'environnement. Elles ont été utilisées à différentes fins industrielles, agronomiques, alimentaires, médicales, esthétiques, guerrières, etc.

Libérées dans l'environnement, elles se sont souvent intégrées aux structures et au fonctionnement des écosystèmes naturels ou artificiels. Quelquefois elles y ont été stockées plus ou moins durablement : amiante, DDT (Dichloro-Diphényl-Trichloro-éthane), plastiques, déchets radioactifs, PFAS (Poly-Fluoro-Alkyl-Substances) dites polluants éternels, etc., et autres produits nouveaux inventés et créés pour « optimiser » les productions humaines. Ces déchets et autres rejets, plus ou moins contrôlés, souvent sans préjuger des effets négatifs sur la qualité des milieux de vie, ont posé et posent, avec de plus en plus d'acuité, des problèmes de santé environnementale et de santé tout court pour les constituants de la biosphère y compris pour l'homme. Ces déchets, quelquefois stockés, sont souvent associés aux processus dynamiques caractérisant les couches externes de la planète Terre (*ibid.*, 27) : mouvement des masses d'air, circulation et cycles de l'eau, cheminements dans les chaînes alimentaires par le biais de la consommation, de la digestion, de la circulation des fluides et composants biologiques, de l'excrétion, de la respiration, des synthèses biologiques, entre autres. Tous ces processus se sont traduits par des transferts et des circulations dans les composants physiques et biologiques, y compris les plus intimes, de la plupart des composants de l'environnement.

Un exemple de ces interconnexions entre processus dynamiques environnementaux est donné dans la figure 2 (*ibid.*, 27). Chez les êtres vivants impliqués, sans exceptions, dans les chaînes alimentaires, les ingrédients d'origine externe mobilisés dans ces processus s'insèrent alors dans les dynamiques biologiques cette fois internes, jusqu'aux niveaux moléculaire et intramoléculaire : absorption, digestion, circulation, dynamique intracellulaire, implications dans les chaînes de synthèses et de ce fait dans le plus intime des structures vivantes. Plusieurs niveaux structuraux existent. Ils sont hiérarchisés et surtout interconnectés dans une structure globale incluant et reliant les quatre composantes principales présentes à la surface du globe terrestre et au-dessus : lithosphère, hydrosphère, atmosphère et biosphère.

C'est avec ce dernier constituant que les écosystèmes assurent les connexions entre les milieux extérieurs abiotiques et énergétiques et les milieux intérieurs, dans lesquels s'élabore la matière vivante avec ses conditionnements génétiques, ses spécificités, voire ses dysfonctionnements, dus à l'arrivée de substances et facteurs naturels ou artificiels inadéquats. L'exemple décrit ci-dessous illustre ce propos et permet de comprendre les conséquences, gigantesques, de ces caractéristiques au plan environnemental.

Dans le passé, plusieurs états détenteurs de l'arme nucléaire ont fait de nombreux essais dans l'atmosphère en y libérant de nombreux atomes radioactifs. Il en est de même pour les rejets gazeux et liquides des centrales nucléaires ou des centres de

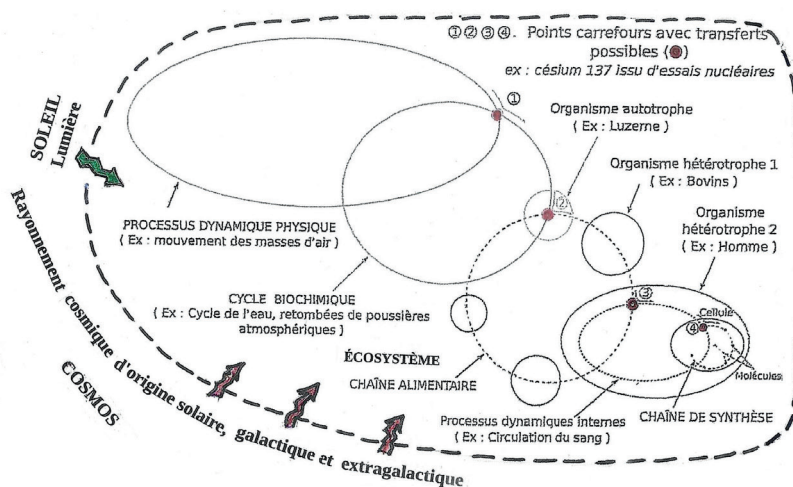


Fig. 2 : représentation simplifiée des principaux phénomènes dynamiques dans leur contexte énergétique

stockage transitoire des déchets de l'industrie nucléaire et pour les contaminations liées aux accidents nucléaires, de Tchernobyl et Fukushima notamment. Ces effluents radioactifs se sont répandus et se répandent entre autres dans tous les compartiments de l'atmosphère terrestre. Au hasard des mouvements des grandes masses d'air, ils ont acquis une répartition mondiale plus ou moins hétérogène. Ils sont caractérisés par des concentrations très élevées à faibles suivant les sites émetteurs et à leur voisinage. Leur diffusion dans l'atmosphère provoque des dilutions qui aboutissent à des teneurs très faibles, considérées par les responsables de la qualité de l'environnement et de la santé des êtres vivants et de l'homme en particulier comme négligeables et sans danger. Est-ce bien sûr ?

Prenons l'exemple de l'isotope radioactif Cs137 du césium, choisi parmi les autres nombreux radioéléments émis dans l'environnement par les activités impliquant des réactions atomiques ou nucléaires. Quel que soit son décor, il conserve ses propriétés physiques d'émetteur d'électrons (rayonnement *bêta*), porteurs d'énergie et de ce fait capables d'altérer des molécules situées dans son environnement immédiat. L'effet le plus fréquent correspond à des cassures de molécules conduisant à la formation de fragments appelés ions, le phénomène lui-même étant appelé l'**ionisation**. Les ions issus de ces interactions, libérés de leurs environnements moléculaires, y sont chimiquement et physiquement actifs. Ils peuvent provoquer des réactions aux effets variés, suivant les milieux dans lesquels ils sont libérés. Par le biais des chaînes alimentaires, puis des processus métaboliques et des chaînes de synthèse, le césium 137 se fixe, plus ou moins **au hasard**, dans des structures vivantes (figure 2, *ibid.*). Insignifiant dans une atmosphère à très faible teneur en césium 137, un atome entraîné par une goutte d'eau vers le sol d'une prairie d'embouche peut être absorbé par les racines d'un végétal et s'insérer dans une feuille qui, broutée par un bovin, lui permettra d'atteindre les organes de cet herbivore. Si l'un de ces organes, filet ou autre pièce comestible atteint par un atome de césium 137, est consommé par un homme, l'atome change encore d'hôte. Il y suit de nouveaux cheminements le fixant dans un contexte moléculaire humain (figure 2, *ibid.*). Là, sa dimension, infime dans la masse atmosphérique de départ, s'exprime alors

à l'échelle des tailles des molécules de leur environnement histologique ou cellulaire. L'atome, toujours émetteur de son rayonnement *bêta*, devient alors un véritable « pétard ». S'il est proche de molécules d'ADN, impliquées dans des processus vitaux comme ceux de la mutagenèse et de la division cellulaire participant à l'organogenèse, ou dans la production des cellules reproductrices, des dégâts ponctuels infiniment petits et discrets comme des mutations peuvent apparaître, se multiplier et contribuer au développement de lignées cellulaires :

- somatiques malignes (tumeurs) dans les tissus ou les organes ;
- germinales, modifiées dans les organes reproducteurs.

Les gamètes mutés peuvent transmettre dans les descendance des nouveautés plus ou moins néfastes, induites chez leurs ascendants. **Les relations de causalité entre ces événements et leurs conséquences, au départ infra moléculaires et rares, sont pratiquement indétectables.** Leurs conséquences au niveau macroscopique sont elles aussi plus ou moins rares. Mais, grâce au phénomène d'amplification lié à la division cellulaire, elles deviennent détectables (caractères nouveaux ou pathologies variées) chez les individus concernés, sans qu'on puisse, sauf exceptions (asbestose et divers cancers liés à l'amiante, à l'arsenic, tueur de vigneron, à la chloro-hydro-thiazide incluse dans certains remèdes, créatrice de cancers épidermoïdes, etc.), les relier à la cause primitive qui en a engendré le développement.

Pour le césium 137 (Lestaevel *et al.*, 2010), l'écotoxicité et la génotoxicité ont été démontrées avec certitude dans le cas de fortes contaminations accidentelles. Avec des doses plus faibles, comme celles évoquées dans le raisonnement développé ci-dessus selon les études faites sur le modèle animal, on lui reconnaît aussi des effets comme des risques accrus de cancers de la thyroïde, de malformations congénitales et fœtales, etc.

Les faits décrits avec le césium 137 peuvent se produire avec de nombreux intrants naturels et artificiels : poisons, parasites comme les virus, grandes « vedettes » de notre actualité quotidienne, polluants variés radioactifs ou non, s'insinuant dans les structures minérales ou biologiques des écosystèmes. De plus en plus, s'ajoutent de nombreux intrants d'origine humaine : physiques (radioactivité et autres rayonnements de longueurs d'onde variées, lumière, bruit, etc.), chimiques (additifs alimentaires, pesticides, fertilisants, remèdes, explosifs, tabac, alcool, drogues diverses, cosmétiques, etc.). Des « torrents » de molécules s'insinuent dans les niveaux les plus élémentaires de la matière vivante, en y créant des niveaux de biodiversité plus, et surtout, moins visibles :

- dans les structures histologiques, cytologiques, moléculaires et infra-moléculaires ;
- dans les processus dynamiques impliqués dans les chaînes de synthèse, dans l'histogenèse, l'organogenèse, et dans l'acquisition des principales fonctions biologiques : ingestion, digestion, respiration, excrétion, reproduction, cognition, etc.

Émanant de l'écosystème humain, des cohortes de substances et de facteurs actifs s'insèrent dans tous les processus dynamiques qui s'expriment dans toutes les structures physiques ou biologiques de l'environnement. Souvent ils se rencontrent, s'ajoutent, créant des effets cocktails susceptibles de déboucher sur des potentialisations ou des neutralisations.

En résumé, la biosphère est devenue la quatrième composante de la couche externe du globe terrestre avec :

- un départ discret, en milieu probablement aquatique, et une longue période d'expansion, d'à peu près quatre milliards d'années, pendant lesquelles elle s'est très diversifiée, y compris sur les terres émergées, grâce à la mise en œuvre des processus de la mutation-sélection, complétés par des interactions entre : êtres vivants [(concurrence,

compétition, prédation, parasitisme, sélection), mais aussi collaborations (complémentarités, endosymbioses, symbioses...) ; les êtres vivants et les caractéristiques physico-chimiques de leurs milieux de vie ;

- des évolutions démographiques et des extensions des aires de distribution vers des biotopes eux-mêmes de plus en plus diversifiés, grâce à son affranchissement de plus en plus net des conditions écologiques naturelles, de l'abri sommaire ou de la case africaine à l'igloo des esquimaux, en passant par les maisons traditionnelles et les tours géantes des villes « modernes » ;

- une colonisation plus tardive, durant les cinq cents derniers millions d'années, des espaces émergés et de nouvelles et nombreuses « inventions » biologiques ;

- un surgissement encore plus tardif, il y a environ trois millions d'années, d'un genre nouveau de mammifère primate, *Homo*, et des caractéristiques de biotopes successivement investis. Les neuf ou treize premières espèces de ce genre, aujourd'hui disparues, se sont, avant de disparaître, insérées dans les chaînes alimentaires et dans les écosystèmes naturels sans trop les modifier et sans trop les perturber. Sa dernière espèce, *Homo sapiens*, encore plus tardivement apparue (-300 000 ans), a, seule, survécu. Elle s'est, à ses débuts, insérée, comme les précédentes, dans les structures et le fonctionnement de son environnement africain primitif. Douée de capacités cognitives exceptionnelles, elle a, avec de plus en plus de rapidité et d'efficacité, fait émerger des structures et des pratiques nouvelles (amélioration et sélection des plantes cultivées et des animaux domestiqués). Ces structures, contrairement aux trois autres constituants externes du globe terrestre (lithosphère, hydrosphère, atmosphère), sont parties de rien, puis de peu, pour coloniser leur environnement et pour y créer tous les biotopes qui s'y distribuent, des plus hautes altitudes aux plus profondes des fosses abyssales. Entre ces extrêmes sont apparues des formes vivantes auto reproductibles, de plus en plus différentes par la taille, la forme, le poids, leurs exigences alimentaires, climatiques, chimiques, leurs modes de reproduction, leur adaptation à la diversité des milieux, génératrice de la biodiversité macroscopique. Cette dernière est souvent directement observable et explicable, comme ceci a été fait dans les lignes qui précèdent, sauf aux niveaux microscopiques les plus intimes de la structure et du fonctionnement des écosystèmes dont les caractéristiques ont été décrites grâce à des démarches et analyses fines de cytologie, de physiologie et de génétique.

Un exemple éclatant de description et d'explication de l'apparition et du développement d'une nouveauté est décrit et expliqué par Catherine Muller-Staumont dans son article « Obésité et cancer : dialogue insolite entre tissus adipeux et tissus cancéreux chez l'homme » (Muller-Staumont, 2022). Comment un tissu cancéreux apparu dans un organisme humain peut-il prospérer et se répandre (métastases) dans un organisme ? Pour le faire, ce tissu, à l'image des tous les tissus, normaux ou pathologiques, a besoin de matière et d'énergie. L'auteure fait une analyse fine des mécanismes mis en jeu dans la connexion des cellules du tissu cancéreux aux adipocytes (tissus gras) dont elles « *utilisent les acides gras comme source d'énergie* » (*ibid.*, 32). De ce fait, « *on peut donc parler de parasitisme des cellules cancéreuses* » (*ibid.*, 32). Cet exemple en est un parmi les très nombreux qui se produisent quotidiennement dans le milieu intérieur des hommes et de tous les êtres vivants. Ils en ont conditionné et ils en conditionnent la biodiversité moléculaire naturelle et par extension la biodiversité cellulaire, histologique, organique, morphologique, physiologique, écologique. Depuis l'insertion d'*Homo sapiens* et de ses productions physico-chimiques intégrées dans les écosystèmes naturels et humanisés, des dysfonctionnements sont observés.

Cette évolution « écologique » de la biosphère anthropisée a des aspects positifs (hygiène de vie, nutrition, santé, éducation, confort matériel, culture, loisirs, etc.), mais aussi négatifs (réchauffement climatique et ses conséquences, maladies de l'environnement, disparités politico-économiques et conséquences sociales, guerres, grands accidents technologiques, etc.).

Ces dysfonctionnements et les risques qui y sont associés, sont plus ou moins connus des scientifiques spécialisés en écologie et études environnementales. Ils sont aussi, et de plus en plus, perçus ou pressentis par les non spécialistes de ces disciplines : professions médicales et paramédicales et agricoles, associations, mouvements politiques, responsables de collectivités territoriales, individus isolés, etc. Dans le domaine de la chimie, productrice de nombreuses molécules nouvelles, des mesures ont été prises dans le cadre du règlement REACH (Règlement Européen d'Autorisation des substances Chimiques) pour mieux protéger la santé humaine et l'environnement contre les risques liés à la fabrication et à l'utilisation des substances chimiques créées. Dans la conclusion de son article « Chimie et développement durable : une rencontre innovante » (Rico-Lattes, 2015, 39), Isabelle Rico-Lattes propose « *d'encourager et promouvoir des plages de dialogue entre chercheurs académiques et industriels sur la relation entre la chimie et la société, prenant en compte les critères de durabilité* » (*ibid.*, 45). Un beau programme et un grand défi !

Bibliographie

Delpoux, Marcel, Trochain, Jean-Louis, « Place et rôle des écosystèmes dans l'environnement humain », *Annales scientifiques de l'Université de Besançon*, (3ème série, fascicule 12), 1972, pp.23-30.

Delpoux, Marcel, « Évolution et adaptation des végétaux à travers les âges », *Mémoires de l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse*, (19ème série, vol. 179, tome VIII), 2017, pp.47-68.

Lestaevel, Philippe, *et al.*, « Properties and biological effects resulting of an internal contamination », *Médecine Nucléaire*, (vol. 34, numéro 2), 2010, pp.108-118.

Muller, Catherine, « Obésité et cancer : dialogue insolite entre les tissus adipeux et cancéreux », *Mémoires de l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse*, (20ème série, vol. 183, tome 3), 2022, pp. 27-33.

Rico-Lattes, Isabelle, « Chimie et développement durable : une rencontre innovante », *Mémoires de l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse*, (19ème série, vol. 176, tome V), 2015, pp.39-46.