Les journées nationales 2021

Les 16, 17 et 18 novembre 2021 se sont tenues nos journées nationales. Un réel succès! Plus de 400 participants et des conférences de grande qualité. Voici les résumés des différentes conférences

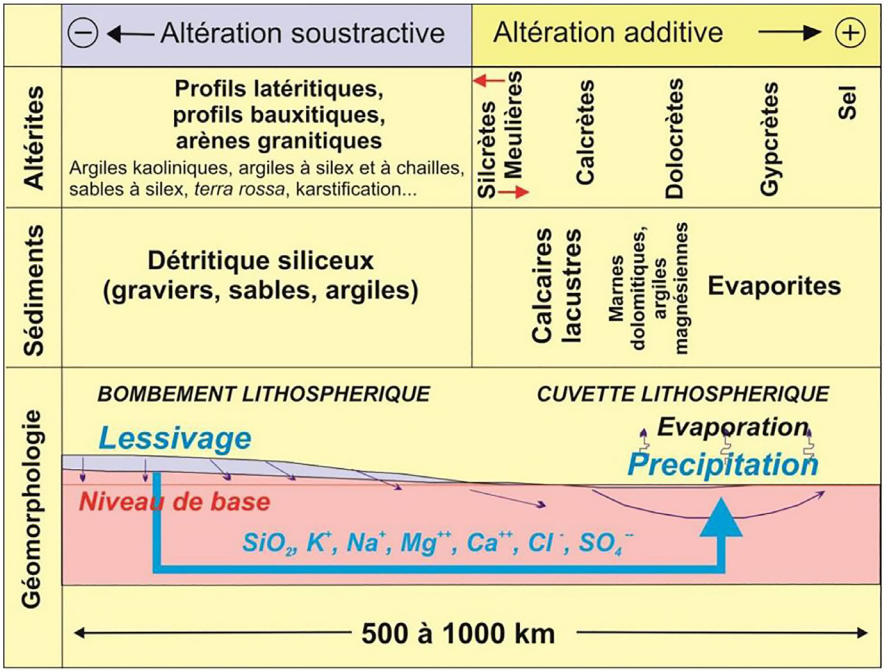
Altérations supergènes et géodynamique de la lithosphère – Robert WYNS

Robert Wyns est chercheur retraité du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Il a enseigné pendant 20 ans à l'université d'Orléans sur le thème de l'altération et des propriétés physiques des roches affectées par l'altération. Il a travaillé dans de multiples régions du monde (Europe, Afrique, Inde, Corée, Nouvelle-Calédonie, Guyane…) et dans des contextes géologiques variés (bassins sédimentaires, socles métamorphiques et plutoniques, chaines alpines).

Quelques définitions…

Monsieur Robert Wyns commence sa conférence par quelques définitions. Il précise que l'altération supergène est un processus de changement minéralogique, chimique et physique d'une roche, dû à l'action de l'eau. Ce phénomène tend à mettre la roche en équilibre avec l'eau qui la baigne ou la traverse, au moyen de réac-

tions constituant ce que l'on appelle « l'interaction eau-roche ». La roche résultante, appelée « altérite », a une composition différente de la roche originelle, différence d'autant plus prononcée que la durée de fonctionnement du profil aura été longue. Les différents types d'altération forment une série continue, depuis un pôle soustractif caractérisé par une perte nette de matière par lessivage, jusqu'à un pôle additif, caractérisé par la précipitation de minéraux dans la zone vadose à partir de l'eau souterraine. Dans la première partie de son exposé, Monsieur Wyns nous explique les 2 types d'altération.



Document 1 :classification des altérations supergènes

Les altérations soustractives

Tous les profils d'altération soustractive résultent d'un mécanisme fondamental unique : l'hydrolyse par l'eau d'infiltration des minéraux primaires et l'appauvrissement progressif en cations et anions par mise en solution et lessivage. La diversité pétrographique et typologique des profils ne dépend que de la nature initiale de la roche parente et des variations relatives de vitesse d'enfoncement des différents fronts du profil. Le haut du profil correspond à la partie la plus évoluée (la plus ancienne), la partie basse à la moins évoluée (la plus récente). La durée de fonctionnement des profils d'altération soustractive est généralement de plusieurs dizaines de Ma. Les vitesses de progression des différents fronts peuvent varier au sein d'un même profil en fonction des conditions climatiques ou de drainage : ces variations de vitesse expliquent les variations d'épaisseur des différents horizons, voire la disparition de certains d'entre eux (absence de cuirassement par exemple).

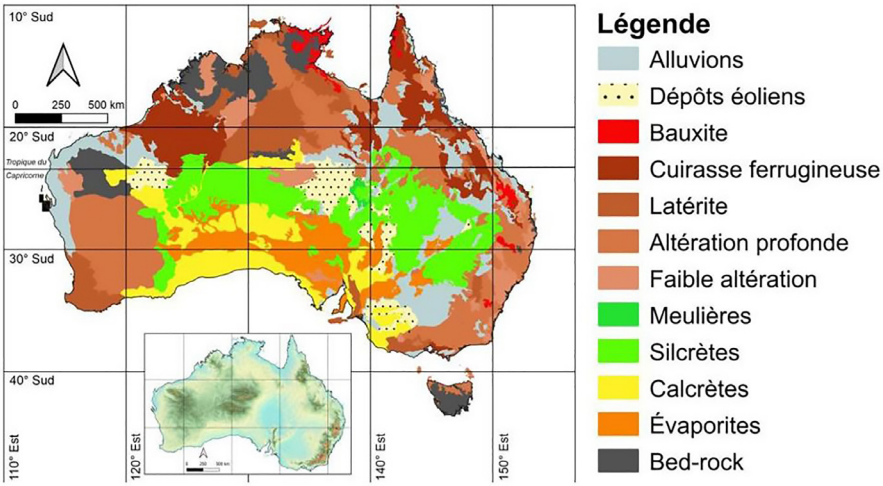
Les altérations additives

Le processus principal est la précipitation de minéraux en zone vadose à partir des éléments chimiques apportés par l'eau souterraine. L'évapotranspiration permet d'atteindre les concentrations en éléments chimiques nécessaires à la précipitation des minéraux néoformés. Pour que ce type d'altération soit possible, la surface de la nappe phréatique doit se trouver à proximité du sol. Ceci implique que ce type d'altération se développe préférentiellement dans les points bas du paysage. Par ailleurs, l'évapotranspiration moyenne doit être supérieure aux précipitations moyennes. Après avoir expliqué les mécanismes des altérations additives, Monsieur Wyns détaille ensuite la séquence: silcrètes et meulières, calcrètes, dolocrètes et gypcrètes.

En résumé, les altérations soustractives des régions hautes alimentent les altérations additives des régions basses.

La zonalité climatique des paléoaltérations, un concept dépassé

Dans la deuxième partie de l'exposé, Monsieur Wyns nous explique pourquoi le schéma de Strakhov (1962 et 1967) s'applique aux sols et non aux profils d'altération. Historiquement, les profils d'altération ont été considérés comme des sols en équilibre avec le climat, et leur répartition autour du globe était interprétée comme contrôlée par les ceintures climatiques. Les progrès dans la datation des profils d'altération et dans la connaissance des paléolatitudes successives des continents grâce au paléomagnétisme montrent que nombre de profils d'altération latéritique se sont formés à des latitudes moyennes ou élevées, remettant en cause le rôle prépondérant du climat. En prenant comme exemple le continent australien, il nous montre que tous les types d'altération existent à la même latitude, leur répartition étant guidée par les altitudes.



Document 2 : répartition des types d'altération en Australie

Le contrôle de l'altération par les déformations lithosphériques de grande longueur d'onde

Dans la dernière partie de sa conférence, Monsieur Wyns nous explique que les études menées dans différentes régions du monde montrent que les déformations de

la lithosphère, par les gradients hydrauliques qu'elles engendrent, sont la première cause de la répartition des différents types d'altération. A l'échelle d'un continent, l'altération soustractive est liée à des soulèvements de la lithosphère, et l'altération additive à des affaissements de la lithosphère. Les processus géodynamiques contrôlant la répartition des altérations peuvent correspondre : au flambage lithosphérique en contexte compressif, à des épaulements de rifts, au passage d'une plaque continentale au-dessus d'un point chaud.

Conclusions

La répartition des altérites sur le globe était jusqu'à présent considérée comme uniquement liée au climat, à travers les ceintures climatiques telles que nous les connaissons. Les progrès dans la datation des profils latéritiques et dans la connaissance des paléolatitudes des continents permis par le paléomagnétisme, montrent que ces profils ont pu se développer jusqu'aux latitudes moyennes à hautes ($\geq 60°$). La compréhension des relations topographiques et du fonctionnement hydrique des profils d'altération à l'échelle continentale montre un lien primordial entre leur localisation et les déformations lithosphériques de grande longueur d'onde. Le climat, dont les variations dans le temps sont de haute fréquence (1 000 à 100 000 ans) ne peut expliquer à lui seul la durée de fonctionnement des profils latéritiques (plusieurs dizaines de Ma). Le climat influe seulement sur la cinétique des réactions minéralogiques, à travers les quantités de précipitations et leur température. Il joue également un rôle dans les variations d'épaisseur de certains horizons des profils latéritiques (cuirasse notamment) et dans le fonctionnement de l'altération additive (l'évapotranspiration doit être supérieure aux précipitations).

Cette conférence documentée et très bien illustrée nous a permis de mieux connaître les différents types d'altération surpergènes (classification, répartition sur le globe et origine). Pour approfondir le sujet, lisez son article paru dans le Hors-Série de la revue Géochronique, consacré aux sciences de la Terre au lycée.

par Gilbert Faury ■

Les cycles orogénique (en France) – Michel BALLÈVRE

Michel Ballèvre est un géologue chevronné, passionné, Professeur de géologie à l'Université de Rennes 1 et directeur du laboratoire CNRS Géosciences Université de Rennes 1, référent de la carte géologique de France et auteur/co-auteur de nombreux ouvrages et publications, il est aussi le président du conseil scientifique de la réserve naturelle François Le Bail de Groix.

Une opposition existe toujours depuis Werner [1749-1819] (temps linéaire), et Hutton [1726-1797] (temps cyclique) mais en fait, il est nécessaire d'utiliser les deux notions : sur le temps linéaire de l'histoire de la Terre s'est installé peu à peu un temps cyclique. L'observation des discordances à différentes échelles révèle les limites de ces cycles.

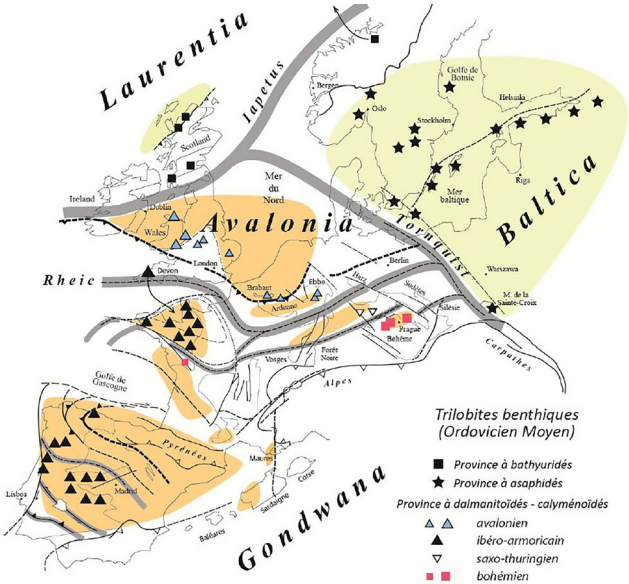
Selon Marcel Bertrand [1847-1907], les cycles sont distribués dans le temps et dans l'espace et une chaîne de montagnes est définie par son âge. Ainsi, la construc-

tion du continent européen s'est faite du nord vers le sud, de l'Archéen vers l'Alpin. Léon Bertrand [1869-1947] est à l'origine de la nomenclature actuelle (Cadomien, Calédonien, Hercynien et alpin). Le problème est que le contexte historique, dominé par Lord Kelvin [1824-1907] impose une Terre en contraction et Jean Aubouin [1928-2020] est bien embêté quand il reprend les schémas de ses prédécesseurs car il y ajoute rifts et océans, fruits d'une extension. Ainsi naît sans effort, le modèle scientifique de la Tectonique des Plaques élaboré par Alfred Wegener [1880-1930]. John Tuzo Wilson [1908-1993] ajoute au modèle l'idée de cycle de Marcel Bertrand.

Au sein d'un cycle orogénique, on retrouve toujours les mêmes faciès : molasses externes et tardives puis flyschs internes et granites spécifiques de chaque chaîne de montagnes. Chaque cycle débute par une discordance, puis défilent des épisodes de sédimentation, d'orogenèse, d'érosion et le cycle se termine par une autre discordance.

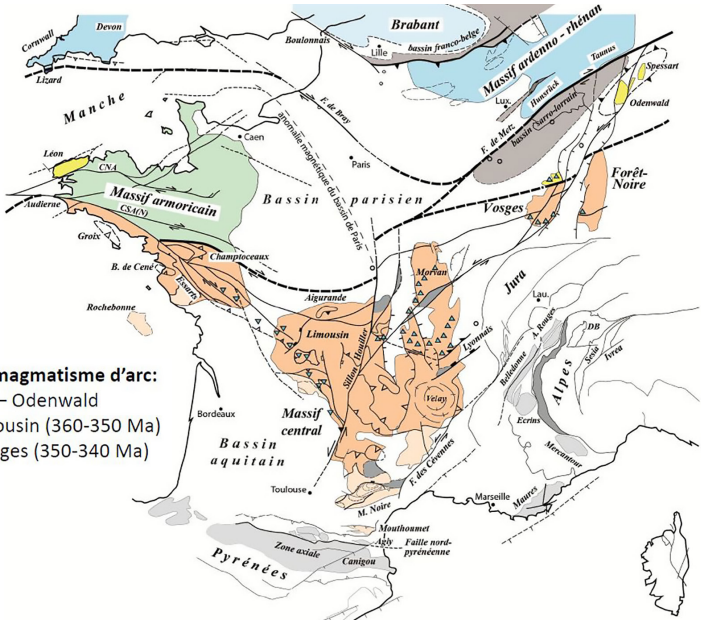
Le cycle Cadomien débute en Bretagne par un océan celtique suturé localement par la collision du Gondwana avec le Laurentia aboutissant à la chaîne cadomienne, zone locale de la chaîne panafricaine. Cette chaîne cadomienne a pour zone interne, la zone du Trégor La Hague contenant les reliques icartiennes ; l'arc est la zone de Saint-Brieuc et l'arrière-arc sont les zones de Saint-Malo et de Fougères. Ce cycle se termine par une discordance de l'Édiacarien sur le Cambrien.

Pour le cycle hercynien, c'est plus complexe car plusieurs océans sont en jeu. L'épaisseur moyenne de la lithosphère montre l'existence d'un craton balte indépendant de l'Europe occidentale, où tout le paléozoïque est horizontal. De plus, son faciès carbonaté indique une formation en milieu chaud tandis qu'à la même époque, l'Europe occidentale a un faciès gréseux pélitique révélateur d'un climat froid (pôle sud). Le craton balte est séparé de l'Europe occidentale par l'océan Tornquist Teisseyre. La répartition des fossiles indique la place des océans anciens que les espèces concernées n'ont pu franchir.



Document 1 : répartition des trilobites benthiques à l'Ordovicien Moyen

Quand on regarde la carte géologique de la France au millionième, on peut comprendre l'histoire de la migration des plaques dans le temps grâce à la lecture de la lithologie à cette échelle. La présence d'arcs magmatiques calco-alcalins est la seconde preuve d'un océan âgé dont la totalité de la lithosphère a subducté y compris les ophiolites. Ainsi, la marge active nord Gondwanienne fait se séparer Avalonia du Gondwana lors de la naissance de l'océan rhéïque.



Document 2 : distribution du magmatisme d'arc

Cette marge est aussi à l'origine d'Armorica et de l'océan médio-européen plus petit. Le serrage du Gondwana fait subducter complètement Tornquist Teisseyre et fait apparaître le massif ardenno-rhénan par collision avec Baltica. La marge nord Gondwanienne épaissie montre une subduction majoritairement continentale où très peu de schistes bleus et d'éclogites subsistent. Le seul indice de cette subduction réussie est la présence d'arcs magmatiques (Limousin, Morvan, Vosges…). C'est à la fin du Carbonifère que l'épaississement est maximum.

La discordance post-varisque où le Trias est posé horizontalement sur tout le socle hercynien pénéplané pendant le Carbonifère et le Permien, montre la phase érosive de la chaîne. Des indices plus fins, comme la répartition des paléofossiles de bivalves d'eau douce, nous montrent l'existence de réseaux hydrographiques. En profondeur, on note la présence de granulites de basse pression d'âge permien (base de la croûte) grâce à leur inclusion dans des enclaves produites par les volcans Velay ou Kaiserstuhl. La croûte se refroidit et est en extension. La chaîne varisque se disloque par la poussée de la subduction de la Néothethys sous le domaine Nord-Européen et fait rejouer la faille Nord-Pyrénéenne préexistante au Permien semble-t-il. La preuve de cette poussée est, entre autres, apportée par le décalage de l'ensemble Corse-Sardaigne à cause du cisaillement est-ouest de la chaîne varisque.

par Rémy Thomas ■

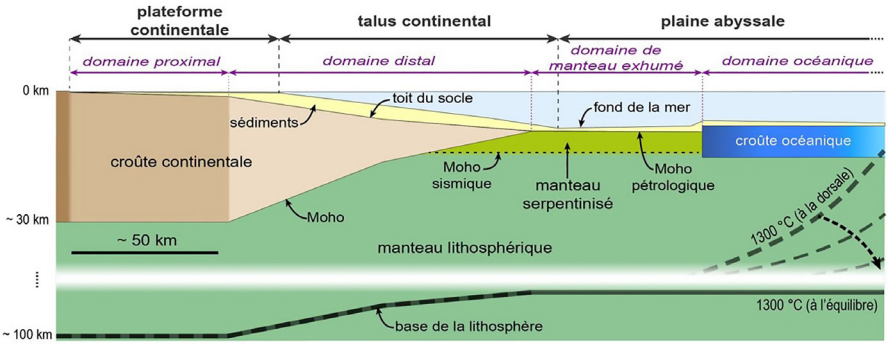
Un aperçu des innovations scientifiques relatives aux marges passives au cours des deux dernières décennies – Pauline CHENIN

Pauline Chenin est chercheuse postdoctorale à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg. Elle a étudié la tectonique et la géologie structurale à l'Université de Strasbourg, puis la modélisation numérique à l'Université de Grenoble. Ses recherches actuelles portent sur les premiers stades de la formation des océans (rifting).

En introduction, Madame Chenin évoque les avancées scientifiques majeures dans le domaine des marges passives lors des deux dernières décennies. Elle nous parle de l'approche scientifique en sciences de la Terre avec une combinaison de techniques variées à des échelles diverses (géologie de terrain, géophysique, géochimie et modélisation numérique) et de l'enseignement des marges passives au lycée.

Quelques définitions et concepts

A partir d'un schéma de synthèse (ci-dessous), Madame Chenin commence par nous donner quelques définitions. Une marge passive comprend, du continent vers l'océan : une plateforme continentale et un talus continental. Les marges passives sont formées lors d'événements géologiques appelés rifting. Il peut aboutir à une océanisation. La description de quatre interfaces majeures permet d'appréhender l'architecture des marges. Il s'agit du fond de l'océan (limite entre l'eau et les sédiments ou le socle) ; du toit du socle (limite supérieure de la croûte continentale, de la croûte océanique ou du manteau exhumé) ; du Moho pétrologique (limite entre la croûte continentale ou océanique et le manteau sous-jacent) ; et de la base de la lithosphère, c'est-à-dire la limite de découplage entre les plaques lithosphériques et l'asthénosphère qui se traduit par une zone de faible vitesse de propagation des ondes sismiques (la *Low Velocity Zone* ou LVZ). Pour s'affranchir des sédiments et ne raisonner qu'en terme d'architecture crustale, on définit le domaine proximal comme la zone où la croûte continentale n'est que peu, voire pas amincie (environ 30 km d'épaisseur) et contrôlé par des failles normales ; et le domaine distal comme la région où la croûte continentale est amincie de 30-35 km à 0 km et dominé par des failles de détachement.



Document 1 : carte des principaux domaines tectoniques dans la région sud de l'Atlantique Nord - Chenin et al. (2020)

Evolution historique des observations et concepts

Elle aborde ensuite l'évolution des concepts et la nouvelle vision des marges. Des forages en eaux profondes au large de la péninsule ibérique ont mis en évidence la présence de manteau serpentinisé directement sous des sédiments là où les anciens modèles prévoyaient soit de la croûte continentale amincie, soit de la croûte océanique. Cette découverte a amené les scientifiques à distinguer deux types de marges : des marges « pauvres en magma » où le manteau sub-continental affleure au fond de la mer, et des marges « volcaniques » où la croûte continentale amincie cède directement la place à de la croûte océanique.

Madame Chenin décrit l'évolution historique et les processus de rifting tels qu'ils sont actuellement envisagés, en illustrant ses propos avec des exemples tirés des Alpes et de nombreuses photos et schémas. Elle aborde ensuite l'aspect tridimensionnel des processus de rifting et d'océanisation.

La formation des marges pauvres en magma

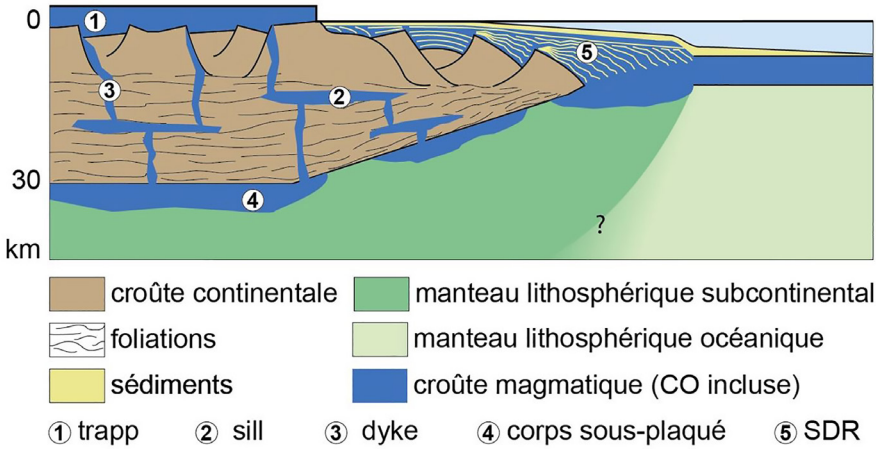
La nouvelle vision de la transition entre croûte continentale (CC) et croûte océanique (CO) permet de parler des marges « pauvres en magma » avec une zone exhumée entre CC et CO. Elles résultent d'un rifting passif où le budget magmatique (la quantité de magma produit lors du rifting) est faible et où l'activité magmatique ne se manifeste qu'une fois que la croûte continentale a été réduite à une épaisseur nulle, voire que du manteau lithosphérique sous-continental a été exhumé au fond de la mer. Dans ce rifting passif, l'extension de la lithosphère est générée par une force externe et cette extension induit la décompression adiabatique de l'asthénosphère. Le magmatisme qui en résulte est donc une conséquence de l'extension, d'où son apparition tardive et l'absence de soulèvement régional avant le début du rifting.

Des exemples de rifts et marges pauvres en magma incluent le fossé rhénan (stade initial, rift avorté) et les marges de l'ancienne Thétys alpine (stade final, au moment de l'océanisation).

La formation des marges volcaniques

La nouvelle vision de la transition entre croûte continentale (CC) et croûte océanique (CO) permet de parler des marges «volcaniques » où le magmatisme s'exprime avant de début de l'accrétion océanique. Elles résultent d'un rifting actif où le budget magmatique est élevé et où l'activité magmatique débute dès les premiers stades de l'amincissement crustal. La remontée de manteau asthénosphérique aussi appelée panache mantéllique, déclenche l'extension lithosphérique. Son ascension se traduit par un soulèvement régional à sa verticale causé par la faible densité du matériel chaud ascendant visqueux. La remontée adiabatique de l'asthénosphère entraîne sa fusion partielle et génère une activité magmatique qui affecte une croûte continentale peu amincie sous la forme de différentes structures magmatiques (schéma ci-dessous).

Des exemples de rifts et marges volcaniques incluent le rift de l'Afar (rifting en cours) et les marges conjuguées de Norvège et du Groenland (stade final, après océanisation, le panache mantellique existant toujours sous l'Islande).



Document 2 : illustration des principales structures magmatiques pendant le rifting actif

La sédimentation lors du rifting

Lors de la dernière partie de sa conférence, Madame Chenin aborde la sédimentation au niveau des marges passives.

La sédimentation pélagique, essentiellement planctonique et comparable à la neige.

La sédimentation turbiditique, essentiellement siliciclastique qui s'accumule dans les points bas et comparable aux avalanches de neige poudreuse.

Les courants de contour, perpendiculaires à la marge avec possibilité d'érosion sous-marine.

Cette conférence, très appréciée des participants, a été une excellente réactualisation de nos connaissances sur les marges passives. Pour en savoir plus, lisez son article paru dans le Hors-Série de la revue Géochronique, consacré aux sciences de la Terre au lycée.

par Gilbert Faury ■

Les exoplanètes et la vie dans l'Univers – Stéphane MAZEVET

Stéphane MAZEVET est Directeur de l'Observatoire de la Côte d'Azur depuis le 1er juillet 2021.
Il a publié en avril 2021, aux éditions Odile Jacob, un ouvrage grand public « Les Exoplanètes et la Vie dans l'Univers ».
Site internet : https://twitter.com/smazevet

Existe-t-il une vie extraterrestre ou la Terre est-elle l'unique arche de vie dans l'Univers ?

La recherche de cette vie extraterrestre a d'abord débuté dans notre système solaire. L'évolution des techniques a permis d'explorer directement les planètes telluriques ou les objets rocheux de notre système solaire à la recherche de traces de vie.

Mais depuis les années quatre-vingt-dix, avec la découverte des premières exo-

planètes, les yeux se tournent plus loin dans l'Univers.

La première étoile se situant à 4,3 années-lumière, la sonde New Horizons la plus rapide a mis 9,5 années-lumière pour se rendre autour de Pluton, l'exploration physique d'exoplanètes n'est pas à l'ordre du jour.

Cependant, les progrès de l'astrophysique, des techniques, ont permis la localisation de systèmes solaires dans notre galaxie, la Voie Lactée. La mission astrométrique Gaia, un satellite lancé en 2013, est consacrée à la recherche de ces systèmes solaires : un certain nombre de publications sont attendues au printemps 2022.

Lorsqu'on travaille sur les exoplanètes, on se « contente » de les rechercher dans notre galaxie car les techniques ne permettent pas actuellement de détecter celles-ci dans les autres galaxies dont les plus proches sont à 1,7 et 3,5 millions d'années-lumière.

Pour le moment, il n'est pas question de déterminer s'il y a de la vie sur ces planètes mais de déterminer s'il y a des planètes qui pourraient accueillir la vie. Pour cela, il faut des appareils qui doivent avoir des résolutions telles qui permettent de distinguer une planète de son Soleil. La méthode des transits détecte la baisse de luminosité lorsque la planète passe entre l'étoile et l'appareil de mesures. Une autre technique, la méthode des vitesses radiales, une méthode spectroscopique, mesure les variations de gravité du système.

Par ces méthodes, ce sont surtout des grosses exoplanètes, de type Jupiter, qui sont détectées. La durée de révolution de Jupiter autour du soleil étant d'environ 12 ans, il faudrait au moins une dizaine d'années de mesures pour obtenir des résultats.

D'autre part, on compare la structure des systèmes solaires à notre système solaire : des planètes telluriques proches de l'étoile et des planètes géantes à l'extérieur. De ce fait, on ciblait les mesures en périphérie du système solaire étudié.

En 1995, la première exoplanète découverte par la méthode des vitesses radiales est 51 *Pegasi B* : sa masse serait la moitié de celle de Jupiter, elle serait 10 fois plus proche de son étoile que Mercure du Soleil et sa révolution ne serait que de 4,5 jours! Ces résultats ont été confirmés par de nouvelles mesures : les exoplanètes sont situées où on ne les cherchait pas ! Car les astrophysiciens ne les attendaient pas là.

En appliquant cette nouvelle structure de système solaire, en cherchant les exoplanètes à ce nouvel endroit, plus proches de leur étoile, ce sont environ 5000 exoplanètes mises à jour actuellement.

Le résumé comparatif des systèmes solaires avec exoplanètes montre que les systèmes sont plus petits, que la révolution des planètes est plus courte que dans notre système solaire. En fait, la structure de notre système solaire est plutôt rare comparée aux systèmes solaires avec exoplanètes déterminées.

Ces résultats ont bouleversé ce que nous savions sur le système solaire : les grosses exoplanètes migrent vers leur étoile. La présence d'eau sur Terre serait due à ces migrations.

La mission *PLATO* (*PLAnetary Transits and Oscillations of stars*), un observatoire spatial développé par l'ESA, dont le lancement est prévu en 2026, devra déterminer si notre système solaire est effectivement atypique. Grâce à ces 25 années de recherche, notre représentation de l'Univers a bien évolué.

Pour le moment, nous n'avons aucun moyen d'étudier l'atmosphère de ces exoplanètes. Les chercheurs essayent de déterminer celles dont les conditions seraient favorables à la vie : une soixantaine serait dans les critères d'habitabilité. Les perspectives de recherches sont de modéliser des écosystèmes complets pour déterminer le type de vie possible selon l'habitat.

Par Sophie Schmitt ■

L'odyssée des gènes – Evelyne HEYER

Évelyne Heyer est professeur d'anthropologie génétique au Muséum national d'Histoire naturelle où elle mène des recherches sur l'évolution génétique et la diversité de notre espèce. Familière des « Pygmées » et des peuples d'Asie centrale parmi lesquels elle a effectué de nombreuses missions, elle cherche à retracer l'histoire des populations humaines et à évaluer l'effet de la culture sur notre évolution génétique. Commissaire scientifique du Musée de l'Homme, puis de l'exposition « Nous et les Autres – des préjugés au racisme », elle vient de publier L'odyssée des gènes (Flammarion, 2020).

L'Homme est un primate qui partage avec son plus proche parent, le Chimpanzé, un ancêtre commun dont l'âge est estimé à 7 millions d'années par l'utilisation de l'horloge moléculaire, et un génome identique à 98,8%. L'évolution de la lignée humaine est buissonnante et l'étude des génomes anciens montre que jusqu'à très récemment plusieurs espèces d'Homo ont pu cohabiter.

Celle de l'évolution des structures anatomiques du genre Homo à partir des fossiles montre que l'adaptation à la bipédie s'est faite moins rapidement que l'augmentation du volume du cerveau. La forme du bassin exigée par l'une l'est au détriment de l'acquisition précoce d'un cerveau volumineux : le nouveau-né a un volume cérébral correspondant à 25% du volume d'un cerveau adulte. La sélection naturelle a retenu la naissance d'immatures nécessitant un temps d'apprentissage et de socialisation très long avant que le jeune adulte acquiert un cerveau de taille définitive. Les sites connus les plus anciens occupés par *Homo sapiens* (- 300 000 à - 150 000 ans) sont tous situés en Afrique. On peut prouver l'existence de migrations à l'intérieur de l'Afrique entre - 150 000 et - 70 000 ans.

La sortie d'Afrique et la colonisation de la planète

Il y a - 70 000 ans, sans raison climatique ou géologique particulière, *Homo sapiens* sort d'Afrique et colonise la planète. Les données génétiques datent son arrivée à - 50 000 ans en Australie, - 40 000 ans en Europe de l'Ouest et en Europe Centrale.

Les recherches portant sur l'ADN ancien souvent dégradé et en très petite quantité nécessitent des techniques particulières mais ont permis de découvrir au moins une nouvelle espèce (l'Homme de Denisova). Elles montrent que tous les Sapiens sont identiques à 99,9%. Cela correspond à environ 3 millions de différences sur 3 milliards de paires de bases (soit une différence 0,1%).

Elles ont prouvé que l'Homme de Néandertal est issu d'une sortie d'Afrique vers - 650 000 ans et que toutes les populations actuelles non africaines partagent 2% au moins de leur génome avec lui. Sapiens et Néandertal se sont croisés.

Nous sommes identiques à 99,7% (13 différences sur 100 000 paires de bases) avec Néanderthal ; la différence ne porte que sur 60 de nos 23000 gènes.

Les 2% du génome de Néandertal présents dans les génomes de Sapiens, mis bout à bout représentent 40% du génome de Néandertal (perte de 60% sans doute incompatibles). La sélection a été très rapide puisque le plus vieux Sapiens européen portant ces séquences (métissage 6 générations auparavant) date de - 45 000 ans à Bacho Kiro en Bulgarie.

Tous les Sapiens portent ces morceaux de génome de Néandertal mais ils diffèrent selon le lieu (Europe ou Asie). On connaît des « bouts » avantageux (immunité, pigmentation, neurologie) et même un « bout » désavantageux actuellement face à la Covid 19, certainement avantageux par le passé face à une autre épidémie.

Par exemple, un facteur venant de Néandertal est porté par 60% de la population au Pakistan : il a dû être avantageux dans le passé.

Les parties du génome de Néandertal retrouvées dans celui de Sapiens diffèrent en Asie et en Europe. Ceux liés à la kératine sont liés à la peau en Europe et aux cheveux en Asie, par exemple.

A l'Est dans une grotte de l'Altaï, l'étude de l'ADN d'une phalange a permis de découvrir l'Homme de Denisova qui s'est métissé avec Néandertal. On retrouve des fragments de son ADN dans les populations d'Océanie et de Papouasie Nouvelle Guinée. Les denisoviens devaient avoir un territoire plus étendu (mâchoire retrouvée au Tibet, Homme dragon daté de - 146 000 ans en Chine).

Un allèle particulier du gène EPAS, d'origine denisovienne, est retrouvé chez les tibétains qui leur permet une meilleure adaptation à l'altitude.

On a montré des mélanges avec Sapiens datant de - 45000 ans et même - 25 000 ans.

On peut penser que les populations venues d'Afrique récupèrent « les bons gènes » qui leur permettent de s'adapter à leur nouvel environnement. On ne trouve pas de trace de métissage avec l'Homme de Florès ou l'Homme de Luzon.

Sapiens a une histoire faite de mélanges !

La transition néolithique

Il y a trois grands foyers de développement de l'agriculture : la Chine, le Moyen-Orient et l'Amérique Centrale qui a irradié en Amérique du Sud et Amérique du Nord Est.

Le changement de mode de vie provoque un essor démographique considérable qui a commencé avant la transition néolithique. Entre - 10 000 et - 5 000 ans, les agriculteurs en provenance d'Anatolie arrivent en Europe. Ils se mélangent rapidement aux chasseurs cueilleurs.

Il y a - 3 000 ans les nomades des steppes migrent vers l'Europe de l'Ouest.

Tous les européens de l'Ouest possèdent donc un génome portant ces 3 origines : les Sapiens ancestraux, Néandertal et les nomades des steppes en des proportions

variées en fonction de la localisation du pays.

Pour expliquer le déroulement de ces rencontres, on peut raisonner à partir de l'exemple présent des populations pygmées chasseurs cueilleurs d'Afrique Centrale qui côtoient les populations d'agriculteurs.

Les populations ancestrales de sapiens pygmées/ non pygmées se sont séparées il y a environ - 70 000 ans. La branche pygmée s'est à nouveau diversifiée en deux populations, pygmées de l'Ouest et pygmées de l'Est, il y a 20 000 ans. Il y a 3 000 ans BP, l'agriculture provoque l'expansion et les migrations des populations non pygmées. On date la divergence des populations des pygmées de l'Ouest et leur métissage avec les non pygmées à - 1 000 ans BP.

Actuellement les métissages femmes pygmées/ hommes non pygmées existent et la femme suit son mari. Lors d'un divorce (fréquent) ou à la mort du mari, la femme revient avec ses enfants dans son village. On trouve donc des traces d'un signal de mélange génétique asymétrique des non pygmées vers les pygmées. Le flux de gènes existe sans violence, ni invasion dans un seul sens non pygmée / pygmée en 500 ans, ce exclusivement par fonctionnement social.

Les adaptations

Notre espèce s'est adaptée à tous les environnements. La couleur de peau est une adaptation à l'ensoleillement et à l'alimentation. Si le fort ensoleillement favorise la peau foncée (les UV détruisant les folates) la peau claire est favorisée par des ensoleillements plus faibles (Vitamine D).

Le « chewing-gum » mâché par Lola, chasseuse cueilleuse, il y a - 5700 ans à Syltholm (Danemark) a révélé sa peau sombre et ses yeux bleus.

Les premiers chasseurs cueilleurs avaient beaucoup de vitamine D dans leur alimentation donc une faible pression sélective sur la couleur de la peau.

Il y a - 10 000 ans, c'est la révolution du Néolithique avec l'introduction de l'agriculture par les populations venant du Moyen Orient à peau claire. L'alimentation devient moins riche en vitamine D. La pression de sélection augmente. L'éclaircissement de la peau date du Néolithique.

La couleur des yeux bleus serait due à une mutation gardée dans les populations par la sélection sexuelle.

L'alimentation a une forte influence sur la persistance des mutations.

Ex les Inuits ont une mutation FADS1 leur permettant de mieux digérer les lipides oméga 3.

Ex : en Inde mutation liée au régime végétarien

Une des spécificités de Sapiens c'est de modifier l'environnement auquel il s'adapte (ou non) génétiquement.

Ex : la lactase persistante

La lactase est une enzyme permettant la digestion du lactose et qui ne persiste pas chez les enfants au-delà de trois ans. La lactase persistante est présente à de fortes proportions dans les populations nomades. La mutation est datée du Néolithique (âge du Bronze) et est très fréquente en Europe de l'Ouest, en Afrique et au Moyen Orient (mutations différentes apparues indépendamment l'une de l'autre).

Etude actuelle de la persistance de la lactase en Asie Centrale

Les cinq anciennes républiques soviétiques d'Asie Centrale présentent une très grande diversité humaine : populations, génétiques, langues, coutumes. La forte organisation hiérarchique de l'administration facilite l'organisation de ce type d'étude.

Des éleveurs boivent beaucoup de lait et mangent beaucoup de viande (protéines animales) et des agriculteurs mangent beaucoup de céréales et peu de protéines animales.

On a fait, dans différents villages, des prélèvements de sang et/ou de salive pour extraire l'ADN. On fait également une analyse biologique en activant la lactase : le sujet est à jeûn depuis 12 heures ; on dose la glycémie et l'hydrogène respiratoire (formation de gaz si le lactose n'est pas digéré). Puis le sujet boit l'équivalent de 50 g de lactose (suffisant mais ne provoquant pas de désagrément) et on suit sa glycémie et l'hydrogène respiratoire pendant 1 h 30. Une teneur en glucose supérieure à 20 mg/dL (t = 20 et 40 minutes) et une quantité d'hydrogène inférieure à 10 (t = 120 et 150 minutes) montrent la persistance de la lactase. On a établi que la mutation est plus fréquente chez les éleveurs nomades que chez les agriculteurs mais elle n'existe pas chez tous et quand elle existe elle est à faible fréquence. On peut émettre deux hypothèses pour expliquer cette faible différence :

1. Les éleveurs consomment beaucoup de lait fermenté donc sans lactose.

2. Ils posséderaient une flore intestinale différente qui permettrait la digestion du lactose.

Migrations, rencontres, adaptations, hasard façonnent la diversité génétique des populations humaines.

Que peut-on alors comprendre de notre passé ? Les Chimpanzés sont toujours restés en Afrique, les Sapiens, originaires d'Afrique, ont toujours migré.

La colonisation est un long processus :

Il a fallu 20 000 ans pour aller du Moyen-Orient à l'Australie et 5 000 ans au Néolithique pour aller du Moyen-Orient en Europe. Les migrations sur de petites distances liées aux systèmes de parenté s'ajoutent aux migrations sur de longues distances. Il y a une extraordinaire diversité à « faire famille » : sociétés patrilocales (64%), matrilocales ; alliances, filiations et appartenance au groupe lié au père ou à la mère. Les femmes ont toujours plus migré que les hommes.

On a bien documenté des mutations locales : adaptation à l'altitude chez les Tibétins, tolérance à l'arsenic dans les Andes, apnée chez les Bajau.

En parallèle de ces mobilités, l'étude du passé nous montre de la stabilité

- Des familles qui bougent et d'autres qui restent

- Ainsi nous avons tous des ancêtres qui ont migré soit d'un village à un autre, soit traversé des milliers de kilomètres et des ancêtres qui sont restés là où ils sont nés.

par Nadine Kuntzmann ■

Le rôle du stress dans les addictions : adaptation ou mal-adaptation? – Mickaël NAASSILA

Mickaël Naassila est professeur de physiologie à l'université de Picardie-Jules Verne et dirige l'unité Inserm UMRS1247– Groupe de recherche sur l'alcool et les pharmacodépendances (GRAP). Il a réalisé 25 ans de recherche sur l'alcool et publié 99 articles scientifiques. Ses travaux portent sur la neurobiologie de l'addiction à l'alcool, la recherche de nouveaux traitements et le développement de modèles animaux pertinents de la maladie, ainsi que sur l'amélioration des essais précliniques multicentriques contrôlés et randomisés. Il est responsable du Réseau national de recherche en alcoologie, président de la Société française d'alcoologie et vice-président de la Fédération française d'addictologie.

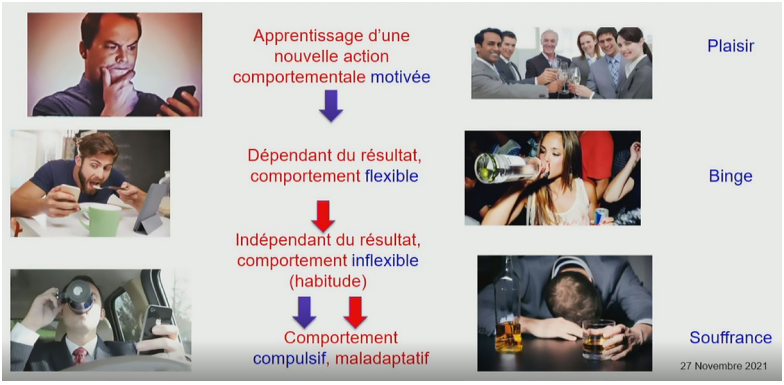
Aparté introductif du professeur Naassila sur notre discipline : Les SVT permettent de formater sa pensée par l'expérience et la démarche scientifique. Il faut réapprendre aux étudiants à utiliser leurs connaissances de telle manière à comprendre les interactions et des mécanismes complexes. Les SVT expliquent ce qui nous entoure et pourquoi nous sommes là finalement !

L'addiction

Qu'est-ce que l'addiction, quand est-on addicte, quel mécanisme physiologique y a-t-il derrière l'addiction et comment fait-on pour s'en sortir ?

L'addiction correspond à l'usage de substances entraînant des pathologies du cerveau mais aussi d'autres comorbidités (neurotoxicité, cancer, troubles mentaux). Son impact est aussi social et économique. Le coût social total estimé en France de l'addiction est évalué à 250 milliards d'euros par an (120 Milliards pour le tabac, 120 pour l'alcool). Par exemple, l'alcool coûte à notre société, 40 fois plus que les taxes qu'il permet de récolter.

L'addiction s'installe doucement. On passe d'un nouveau comportement motivé à un autre qui devient totalement aberrant (perte de contrôle) et inflexible (automatisme) jusqu'à devenir compulsif en un nouvel état mal adaptatif.



Document 1 : du comportement motivé par un but, aux apprentissages aberrants, à la compulsion

Nous ne sommes pas tous vulnérables à devenir addictes à telle ou telle substance ou tel ou tel comportement. Il y a plusieurs facteurs impliqués dans cette vulnérabilité. 50% est génétique, mais 50% est en lien avec d'autres facteurs (disponibilité et coût des drogues, environnement familial, le microbiote, le tempérament, la personnalité).

Document 2 : les facteurs de vulnérabilité à l'addiction

Depuis 2013, on utilise 11 critères pour jauger un niveau d'addiction. Le plus souvent une addiction est fréquemment associée à une autre pathologie (somatique, psychiatrique). Il peut y avoir aussi une poly-addiction.

1. **Incapacité de remplir des obligations majeures** au travail, à l'école ou à la maison.
2. Usage dans des **situations** dans lesquelles celui-ci est physiquement **dangereux**.
3. Usage poursuivi malgré des **problèmes sociaux ou interpersonnels persistants** ou récurrents, causés ou aggravés par les effets de la substance.
4. **Tolérance** :
   - Besoin d'augmenter notablement les quantités de substance pour atteindre l'intoxication ou les effets désirés.
   - Effet diminué lors de l'usage continu.
5. **Sevrage** :
   - Syndrome de sevrage caractéristique de la substance.
   - Substance consommée pour soulager ou éviter les symptômes de sevrage.
6. Substance prise en **quantité plus importante** et pendant une **période plus longue** que prévue.
7. Désir persistant, **effets infructueux pour arrêter ou contrôler** l'usage de la substance.
8. Beaucoup de temps passé à se procurer la substance, à la consommer ou à récupérer de ses effets
9. Importantes **activités** sociales, professionnelles ou de loisir sont **arrêtées ou réduites** à cause de l'usage de la substance.
10. Usage de la substance poursuivi malgré l'existence de **problèmes physiques** ou **psychologiques** persistants ou récurrents.
11. Existence d'un **craving** ou d'un **désir fort** ou d'une **pulsion** à consommer.

2-3: léger	4-5: modéré	≥6: sévère

Document 3 : les critères permettant d'évaluer une addiction

Comment passer du plaisir à la dépendance ?

Il y a plusieurs mécanismes de l'addiction :

• **le renforcement positif / négatif** : si cela me fait du bien, je répète le comportement et j'évite ce qui me fait du mal. Ainsi on devient hyper-motivé à faire et refaire le comportement ou à prendre la substance qui nous fait du bien, même au détriment de notre santé. Ce sont les expériences de Olds et Milner sur les rats qui ont permis de mettre en évidence les effets cellulaires de ces substances sur les neurones du circuit de la récompense. Par exemple l'alcool va agir directement en stimulant les neurones dopaminergiques, indirectement en inhibant les neurones gabbaergiques mais aussi en stimulant des neurones à opioïdes augmentant ainsi l'effet euphorisant.

• **une hypoactivité du cortex préfrontal** permettant de planifier, de juger de mes actes, de freiner mon comportement…

• **l'allostasie** (modification du système de base) hédonique ou processus opposants. Dans ce cas, le cerveau s'adapte pour contrer les effets d'une substance sur lui. Par exemple, à force de stimuler le circuit de la récompense, le cerveau va produire moins de récepteurs à la dopamine. Ainsi, on augmente le seuil de récompense ce qui induit un mal-être, un état émotionnel négatif.

• **la plasticité synaptique** est fortement impactée par les drogues et le stress.

L'effet du stress sur les addictions et inversement

Le stress est un facteur clé dans les addictions.

Il y a une action du système inhibiteur via l'axe du stress. Le CRF produit par l'hypothalamus a des récepteurs ailleurs que sur l'hypophyse, dans d'autres structures cérébrales impliquées dans l'addiction comme l'hippocampe, l'amygdale et le cortex préfrontal. Lors d'un sevrage, on observe que le CRF augmente dans l'amygdale notamment. Ainsi, si on bloque ces récepteurs au CRF, l'anxiété au sevrage diminue, donc la consommation, ce qui permet de prévenir une rechute. Le CRF agit également sur les neurones dopaminergiques. Ainsi le stress, par le CRF, permet de moduler le circuit de la récompense et d'induire une plus grande sensibilité et donc une vulnérabilité aux addictions.

Plus spécifiquement et concernant l'alcool, lorsqu'il est pris de manière occasionnelle, il induit du stress, en revanche une consommation chronique réduit la réponse de l'axe du stress de sorte qu'on observe une baisse du taux de cortisol induisant une plus grande motivation à consommer. Chez ces personnes, le stress déclenche ainsi une envie de boire, chose que l'on n'observe pas chez les individus buvant modérément voire occasionnellement. Pendant les phases de sevrage, lors d'un sevrage aigu à l'alcool, il y a une forte mobilisation de l'axe du stress. Au bout d'une semaine à un mois de sevrage, on retrouve encore énormément de corticoïdes dans le cerveau même si l'axe du stress n'est plus mobilisé. En fonction de la réduction dans le temps de ces taux de corticoïdes dans le cerveau, on observe un risque de rechute plus ou moins important dans l'année qui suit. Il a été testé un antagoniste aux récepteurs aux corticoïdes (mifépristone) dans l'addiction à l'alcool et l'envie de boire.

Comment remédier aux addictions ?

Augmenter les effets renforçant des récompenses naturelles, renforcer le contrôle inhibiteur, interférer avec les mémoires conditionnées et s'opposer aux réponses au stress qui induisent la rechute.

Ce qu'il faut retenir

- Le stress est un facteur clé à tous les stades de l'addiction (initiation, persistance, rechute) - facteur prédictif du craving (envie) et de la rechute.
- Le stress module le fonctionnement du circuit cérébral de la récompense.
- Le stress induit des mécanismes de plasticité synaptique dans ce circuit (comme les drogues).
- Il y a une très forte comorbidité entre PTDS (syndrome post-traumatique) et addictions.
- Des antagonistes des glucocorticoïdes peuvent induire les comportements addictifs.
- Il y a mal adaptation avec installation d'une dysphorie (état émotionnel négatif) associée à l'allostasie hédonique.

par David Boudeau ■

La modélisation des maladies infectieuses, le titre est resté le même et malheureusement l'actualité aussi ! – Mircea T. SOFONEA

Mircea Sofonea est Maître de conférences en épidémiologie et évolution des maladies infectieuses, à l'Université de Montpellier. Responsable de l'équipe de recherche Évolution Théorique & Expérimentale, laboratoire Maladies Infectieuses et Vecteurs : Écologie, Génétique, Évolution et Contrôle - UM, CNRS, IRD

Introduction

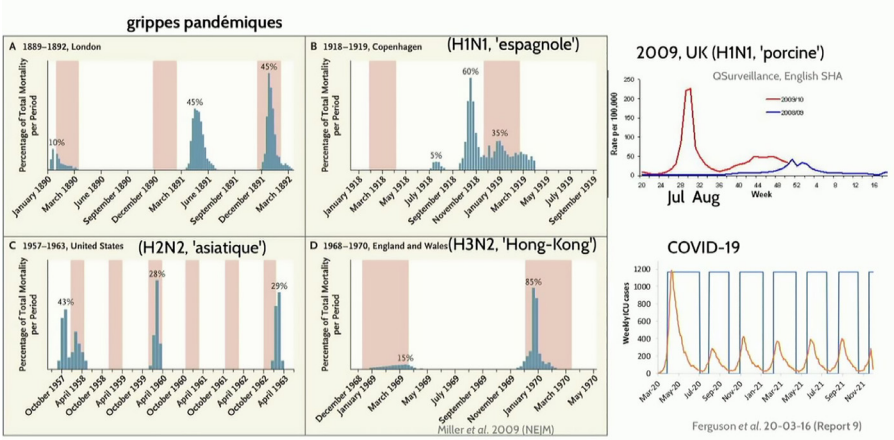
La modélisation épidémiologique quantitative est une jeune discipline. L'exemple de la Covid19 est intéressant à traiter ici, bien évidemment, mais il y a bien d'autres exemples qui sont les sujets de cette discipline. Dans le cadre des SVT, la modélisation en tant que démarche scientifique doit être maîtrisée compte-tenu de l'actualité et de sa mauvaise compréhension par les médias et le grand public.

Un modèle est une représentation simplifiée d'un phénomène réel (contrairement à la notion de modèle en mathématiques) qui se focalise sur certaines propriétés et processus considérés essentiels pour sa compréhension. Un modèle débute par des hypothèses de travail (assumptions en anglais ou supposition), puis il fournit un cadre de raisonnement adapté à la vérification logique (expérience conceptuelle), la quantification et la conjecture (hypothèses à tester : à confirmer / ou infirmer). Dans le cadre d'une épidémiologie, la modélisation est le passage des événements qui se passent tous les jours en réel à la traduction en équation et/ou en algorithme.

Distinction entre réel et modèle

Au sortir du premier confinement, parmi les arguments avancés et plutôt rassurants relayés dans les médias, il y avait : « une pandémie ce n'est qu'une seule vague

» ou « il n'y a pas d'épidémie de virus respiratoire en été ». Or, les données issues d'anciennes pandémies grippales (« espagnole », « asiatique », « de Hong-Kong ») ont présenté plusieurs vagues et la grippe « porcine » de 2009 en UK avait eu lieu en été. Dès le mois de mars 2020, des chercheurs anglais dans le 9ème rapport de l'*Imperial College*, ont été les premiers à modéliser la dynamique de l'épidémie de Covid19 qui pouvait être induite par des politiques de restriction forte (type confinement) et sans tenir compte du développement d'un vaccin ni des mutations virales. On observe qu'ils avaient obtenu 7 vagues, même l'été et même si deux pics épidémiques n'ont pas eu lieu finalement, cela montre une forme de lucidité de ces chercheurs. Ces modélisations peuvent être exploitées par les décideurs dans le cadre d'une anticipation que l'on confond trop souvent par la prédiction (précise) qu'il est impossible de faire.



Document 1 : quelques chroniques épidémiques et un modèle Covid19

Mathématiques et biologie

La présence des mathématiques en biologie peut poser un problème, même en recherche fondamentale. Par exemple, plus il y a d'équations dans un article scientifique de biologie, moins cet article est lu ! Dans la recherche en physique, l'expérience et le modèle mathématique avancent de façons coordonnées dans la démarche scientifique, un aller-retour permanent entre modèle et expérience est fait pour établir une théorie. *A contrario*, en biologie, la question d'un résultat « théorique » obtenu par une modélisation n'est pas forcément considéré comme un vrai résultat.

Problématiques de la conférence : Pourquoi, quand et comment modéliser ? Quelle place accorder aux modèles dans l'étude et le contrôle des maladies infectieuses ?

Pourquoi modéliser ?

Lorsque l'observation est inaccessible pour des raisons éthiques, spatiales, temporelles et matérielles. Par exemple : il n'est pas possible de faire une étude comme dans un test clinique sur une population générale (avec groupe témoin randomisé) ; parfois, l'observation masque le phénomène (exemple avec la chute des corps du temps d'Aristote qui ne pouvait pas intégrer le frottement de l'air avant que l'on puisse faire un vrai vide) ; parfois les phénomènes non linéaires échappent à l'intui-

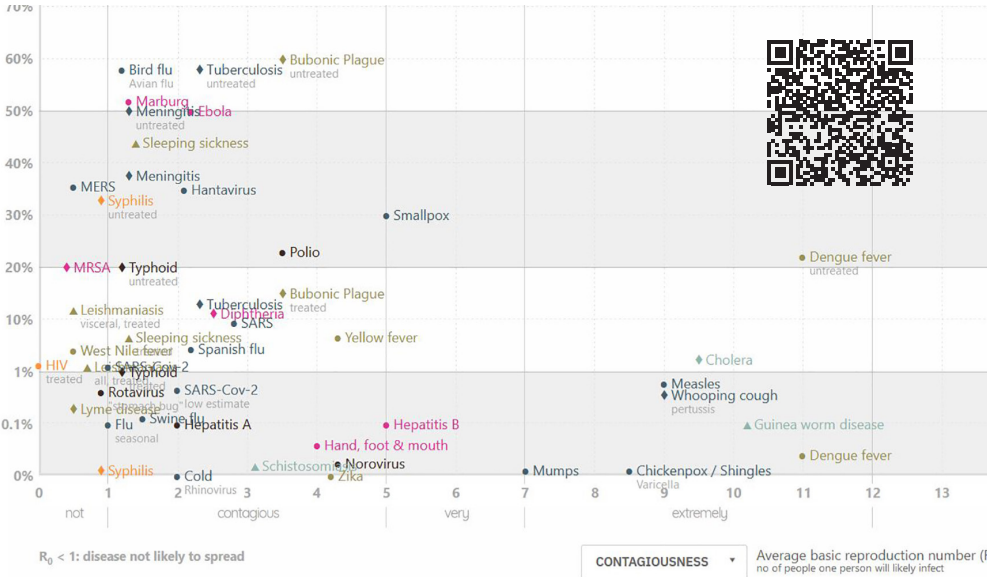
tion (exemple avec l'échiquier de Sissa qui montre que l'on pense facilement, au premier abord, que nous pouvons remplir un échiquier de grains de riz en le multipliant par deux à chaque case, dans ce cas, comme dans le cas d'une épidémie infectieuse, on se rend compte trop tard que le phénomène n'est pas linéaire mais exponentiel !).

Un modèle doit répondre à une question bien précise. Pour une nouvelle problématique, il ne faut pas réutiliser un modèle existant mais en créer un différent adapté au problème.

Exemple de la pandémie de Covid19

Dans le cas de la pandémie de Covid19, la modélisation a été synchrone avec le phénomène, l'évolution de la recherche et les interactions/conséquences sur la société. Lorsque l'on fait des modèles météorologiques erronés, il pleuvra quand même, mais sur des modèles qui sont utilisés pour des décisions politiques, c'est beaucoup plus délicat surtout que ces décisions modifient ce qui se passe et donc rendent le modèle obsolète sur lequel on se base initialement…

Pourquoi est-ce que la pandémie de Covid19 est aussi dramatique alors que la létalité et la contagiosité sont modérées par rapport à d'autres maladies infectieuses. En réalité, pour déterminer la gravité d'une maladie émergente, il faudrait tenir compte de la contrôlabilité d'une épidémie et de la proportion d'infections asymptomatiques. C'est bien le nombre important d'individus asymptomatiques qui rend la pandémie de Covid19 incontrôlable.



Document 2 : MicrobeScope, létalité et contagiosité des maladies infectieuses (mortalité en fonction de la contagiosité)

https://www.informationisbeautiful.net/visualizations/the-microbescope-infectious-diseases-in-context/

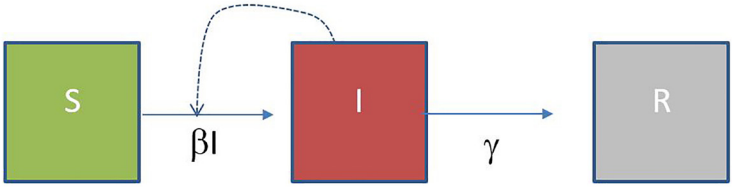
L'origine de l'épidémiologie mathématique date du 18ème siècle grâce au mathématicien Daniel Bernoulli (1766) qui avait fait des calculs pour déterminer l'es-

pérance de vie des personnes atteintes de variole avec ou sans variolisation (pratique prophylactique avec la vaccination). Il avait ainsi déterminé 3 années d'espérance de vie supplémentaires (26 à 29 ans) et donc conclu que cette technique était intéressante à poursuivre. *« Je souhaite simplement que dans une question qui regarde de si près le bien de l'humanité, on ne décide rien qu'avec toute la connaissance de cause qu'un peu d'analyse et de calcul peut fournir » D. Bernouilli, 1760*

Actuellement plusieurs types de modèles peuvent être exploités pour déterminer la cinétique d'une maladie infectieuse :

Le Ro (nombre de reproduction)

Le calcul du Ro se base sur le principe du modèle SIR avec : S, individus susceptibles d'être infectés ; I, individus infectés et R, individus « retirés » car soit décédés soit immunisés (ne pouvant plus être infectés). Deux variables sont à prendre en compte dans ce modèle, le taux de transmission (personnes infectées qui contaminent celles qui ne le sont pas encore) (βI) et le taux γ de personnes retirées (soit pas décès ou immunisation). Le Ro est une mesure absolue de contagiosité et non pas de vitesse épidémique.



Document 3 : le modèle SIR

Plus il y a d'individus infectés, plus la probabilité d'infecter des individus susceptibles de l'être, est grande. Cela induit de fait que ce modèle n'est pas linéaire. Pour qu'il y ait une croissance du compartiment des infectés, il faut que $\beta I / \gamma$ qui correspond au Ro soit strictement supérieur à 1. Le Ro permet de déterminer deux éléments : la couverture vaccinale optimale (appelée également seuil d'immunité collective) capable de contrôler l'épidémie avec l'hypothèse de vaccins qui fonctionnent parfaitement ; l'incidence cumulée relative (taille finale de l'épidémie) correspondant à la proportion d'individus touchés par l'épidémie. Dans les médias, ces deux éléments ont souvent été confondus. Il faut savoir que pour un Ro donné, l'immunité collective est toujours inférieure à l'incidence cumulée.

Pour déterminer précisément le Ro, l'histoire naturelle de la maladie est clé dans la modélisation de son évolution dans le temps. Il faut tenir compte de : l'aspect « clinique » (incubation, phase virale souvent asymptomatique, phase inflammatoire, symptômes pouvant être persistants) ; l'aspect épidémiologique (contagiosité Ro) et l'aspect diagnostique (tests PCR, antigéniques, sérologiques). Pour cela, il faut des données de terrain précises toujours difficiles à avoir.

En aparté : voir l'article dans « l'évolution en action » sur l'épidémie du VIH !

La génétique des populations

La génétique des populations permet de déterminer la contagiosité relative des variants. La courbe de fréquence de l'allèle rare ayant un meilleur fitness (avantage pour le variant à se reproduire) suit une fonction logistique. Cela permet de mesurer

les avantages de transmission de tel ou tel variant à partir des données de fréquence du génotype des variants obtenus par PCR.

Les modèles pour prédire, anticiper, éclairer : les scénarios d'après des modèles

Il n'est pas facile de prédire et anticiper. C'est pourquoi il est nécessaire d'établir plusieurs scénarios en se reposant sur des données hospitalières qui sont extrêmement fiables, mais aussi sur d'autres données moins fiables (par exemple sur les tests, sur la létalité, les effets d'actions publiques comme un confinement etc.). Il faut aussi prendre en compte les données spatiales en lien avec la densité de population les déplacements, les probabilités de rencontre d'autres personnes etc. Exemple de l'application « Epidemap », voici deux vidéos : simulation de la propagation du CoViD-19 en France (comparaison avec/sans confinement) https://www.youtube.com/watch?v=V1iUhQukxmo et simulation du «rebond» à la levée du confinement. Statistiques par commune. https://www.youtube.com/watch?v=Hx8vB6BAWUk

Les mauvaises pratiques et mésusages des modèles

Dans la conception du modèle attention :

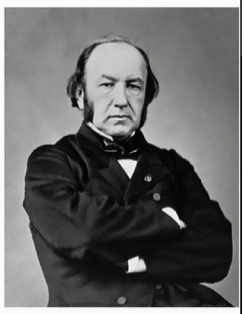
- aux hypothèses de travail non explicites, non justifiées ;
- à l'extrapolation des résultats au-delà des conditions de validité ;
- à l'absence de validation croisée, d'analyse critique.

Dans la communication attention :

- à l'absence des limites du modèle (souvent occultées par souci de rapidité de l'information) ;
- à la distinction entre projection et prévision.

Dans la prise de décision, attention à diversifier les modèles exploités afin d'identifier les incohérences sans instrumentaliser le travail des chercheurs qui ne sont pas des politiques.

«Cette application des mathématiques aux phénomènes naturels est le but de toute science, parce que ***l'expression de la loi des phénomènes doit toujours être mathématique****. Il faudrait pour cela, que les données soumises au calcul fussent des résultats de faits suffisamment analysés de manière à être sûr qu'on connaît complètement les conditions des phénomènes entre lesquels on veut établir une équation. Or je pense que les* ***tentatives de ce genre sont prématurées dans la plupart des phénomènes de la vie,*** *précisément parce que ces phénomènes sont tellement complexes, qu'à côté de quelques-unes de leurs conditions que nous connaissons, nous devons non-seulement supposer, mais être certain, qu'il en existe une foule d'autres qui nous sont encore absolument inconnues. Je crois qu'actuellement la voie la plus utile à suivre pour la physiologie et pour la médecine est de* ***chercher à découvrir des faits nouveaux, au lieu d'essayer de réduire en équations ceux que la science possède****. Ce n'est point que je condamne l'application mathématique dans les phénomènes biologiques, car c'est par elle seule que, dans la suite, la science se constituera ; seulement j'ai la conviction que l'équation générale est impossible pour le moment, l'étude qualitative des phénomènes devant nécessairement précéder leur étude quantitative.»*



C. Bernard (1865). *Introducion à l'étude de la médecine expérimentale.*

Document 4 : chercher des faits nouveaux et ne pas réduire en équations ceux que la science possède…

par David Boudeau ■

Comment le cerveau représente-t-il les odeurs ?– Hirac GURDEN

Chargé de recherche en neurosciences au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Hirac Gurden dirige une équipe dans un laboratoire interdisciplinaire de physique et de neurobiologie à Orsay. Ses études portent sur le fonctionnement du cerveau, particulièrement sur le codage de l'information dans le système olfactif.

Dans le contexte actuel de pandémie, la perte de l'odorat est devenue un véritable problème de santé publique. Auparavant, pour le grand public, l'agnosie n'était pas considérée comme un handicap majeur car invisible. Pourtant, les fonctions de nutrition, les interactions sociales et la vie affective en sont affectées de manière quelquefois suffisamment forte pour conduire à la dépression.

Notre vie olfactive convoque notre humanité (chamanisme : communication avec les esprits permise par la combustion de certaines herbes), notre spiritualité (les rois mages apportent à Noël de l'or mais aussi de la myrrhe et de l'encens encore plus précieux) et toujours notre mémoire. C'est sans doute pour cela que de grands penseurs comme Buffon, Freud, Kant ou Broca ont dénigré l'odorat humain qui serait le reliquat peu performant de notre animalité. Pourtant, le bulbe olfactif humain a une taille très supérieure à celui de la souris réputée très performante : nous pouvons affirmer que l'Homme a une très bonne sensibilité olfactive. Les écrivains, Hugo, Baudelaire, et bien sûr Proust ont évoqué les mémoires multiples de l'odorat.

L'odorat intervient dans notre vie quotidienne dans la détection des signaux à distance : pollution, hygiène (cosmétologie, parfum des nombreux produits d'hygiène…), détection des signaux de dangers (incendies, aliments avariés, gaz), plaisir ou déplaisir des aliments (intervention dans la formation du goût, flaveur), plaisir de la nature et de la saisonnalité.

La flaveur d'un aliment est le résultat de l'addition des sensations olfactives, gustatives (5 saveurs fondamentales) et trigéminales. La muqueuse olfactive est innervée par deux branches sensitives du nerf trijumeau qui captent les sensations de pression et de température et donc les sensations de frais, chaud, piquant, irritant (menthe, bulles de CO2, piment, épices …) même chez des patients agnosiques. L'intervention des phéromones, mode de communication chimique intra-spécifique à proximité physique et stéréotypée, est très discutée chez l'humain adulte. Néanmoins, une attirance olfactive mammaire due à une phéromone maternelle, est reconnue chez le nourrisson durant la phase de lactation, comme chez tous les mammifères.

Mécanismes de la perception olfactive : nez et cerveau

Le schéma olfactif verbalisé :

« Cela sent quelque chose » : le seuil de détection de la molécule est dépassé. Il dépend de la concentration car il faut activer un certain nombre de récepteurs.

« Cela sent bon (ou pas) » : réaction hédonique, appréciation.

« J'ai déjà senti cela » (familiarité) cela sent un gâteau (catégorisation) : convocation de la mémoire.

En moins d'une seconde, l'odeur est identifiée : c'est de la vanille !

La reconnaissance d'une odeur est donc une valse à trois temps qui fait intervenir :

1. la détection des molécules odorantes par l'épithélium olfactif au fond du nez ;
2. le codage : formation de cartes d'identité olfactives par les neurones du bulbe olfactif ;
3. l'étiquetage et le rayonnage : perception, hédonisme, émotions, mémoire par le système limbique.

C'est quoi une odeur ?

Les molécules odorantes sont des molécules volatiles aux composants atomiques variés (C, H, O, N, S) et aux configurations spatiales complexes.

Exemples : vanilline, benzaldéhyde (amande), isomylacétate (banane).

Neurones et récepteurs olfactifs

Les gènes codant pour les récepteurs olfactifs représentent 3% des gènes et constituent la deuxième famille de gènes chez l'Homme.

Animal	Abeille	Homme	Souris	Chien	Éléphant
Nombre de types de récepteurs	165	400	1000	1200	<2000

Tableau : comparaison du nombre de types de récepteurs olfactifs chez les Mammifères

L'épithélium olfactif est tapissé des cils sensitifs en contact avec l'air et les molécules odorantes. Ce sont l'extrémité de dendrites des neurones bipolaires dont le corps cellulaire projette un axone vers le bulbe olfactif. On évalue à 10 millions le nombre de neurones sur une surface équivalente à celle d'un timbre-poste.

Chaque neurone n'exprime qu'un seul type de récepteurs et deux molécules différentes seront donc captées par des cils différents, donc des neurones différents.

Exemple : la vanilline va activer trois types de récepteurs alors que l'odeur de la gousse de vanilline va en solliciter un grand nombre ayant des affinités différentes avec les différentes molécules présentes.

La neurogénèse est continue : les neurones sont renouvelés toutes les 6 semaines à partir de cellules souches. Elle est favorisée par la stimulation olfactive ce qui est la base de la rééducation.

Le bulbe olfactif, situé entre et juste au-dessus les deux yeux est le « Hub » cérébral. C'est lui qui reçoit et intègre les messages provenant des neurones olfactifs. Il code spatialement et temporellement le message qui va correspondre à un code combinatoire à partir des stimulations des différents récepteurs et de leur affinité pour les molécules.

La stimulation déclenche un message codé en potentiels d'action circulant dans le nerf olfactif vers le cerveau. Ce codage est totalement différent de celui de la vision.

La perception d'intensité déclenche des patrons d'activation totalement différents.

Exemple de la civettone extraite des glandes anales de la civette : la molécule

est utilisée en très petite quantité dans Chanel n°5 ou plus grande quantité dans les cigares.

Exemple : l'indole est agréable lorsqu'il est présent en petite quantité dans le jasmin et pestilentiel en grande quantité dans les excréments.

Le cerveau transforme le monde qui nous entoure en messages électrochimiques internes.

Le dialogue entre neurones formant un réseau très dense, constitue la base de la transmission et du stockage des informations.

Les interactions s'établissent entre le bulbe olfactif et l'hippocampe (bibliothèque dynamique et souvenirs), le cortex piriforme (début de la perception olfactive), l'amygdale (émotions), et le cortex orbitofrontal (conscience, intégration, décision, imagination) pour élaborer « la recette » de la « madeleine » chère à Proust.

L'apprentissage olfactif se poursuit tout au long de la vie.

Lors de la vie fœtale, le fœtus, vers 6-7 mois goûte, sent et mémorise les molécules.

D'une manière innée, le bébé de 3 heures détecte la vanilline.

Si la maman mange beaucoup d'ail par exemple, le bébé de 3 heures ne manifestera aucune répulsion à son odeur. Il aura appris à la mémoriser.

Autrement, avec l'odeur d'œuf pourri, il ouvre la bouche et ferme les yeux.

Le répertoire s'élargit avec la famille, l'école, les voyages, la publicité … et évolue tout au long de la vie.

La perte tragique de l'odorat

10 à 15 % de la population sont atteints de dysosmies qui sont très liées à la sphère ORL (35%).

Parmi ces personnes, 28% des atteintes sont dues au vieillissement.

On a constaté notamment que cette perte de fonction peut précéder le déclenchement des autres symptômes de la maladie d'Alzheimer.

Il existe des protocoles établis pour lutter contre ce vieillissement olfactif par un entraînement biquotidien, ainsi que pour contrer l'anosmie provoquée par la Covid. Consulter le site « Anosmie.org ».

par Nadine Kuntzmann ■

La transition énergétique – Cédric PHILIBERT

Diplômé de l'Institut d'études politiques de Grenoble, Cédric Philibert est consultant indépendant et analyste senior des questions d'énergie et de climat, avec un focus sur les énergies renouvelables pour l'industrie et les transports, le rôle de l'électrification et de l'hydrogène dans la décarbonisation de l'économie mondiale. Il est également chercheur associé à l'Institut français des relations internationales (Ifri) et à l'Université nationale australienne (ANU). Enfin, il assure un enseignement à Sciences Po Paris. Il a travaillé pendant 19 ans à l'Agence internationale de l'énergie (AIE).

La transition énergétique est principalement motivée par le dérèglement climatique, même si la pollution et l'épuisement des énergies fossiles sont aussi importants. La transition énergétique vise à éliminer presque totalement les émissions de gaz à effet de serre afin de maintenir le dérèglement climatique à un niveau acceptable tout en assurant la sécurité énergétique, c'est-à-dire l'accès du plus grand nombre à une énergie moins polluante.

Depuis la révolution industrielle, il n'y a pas eu de « transition » énergétique : de nouvelles sources d'énergies ont été ajoutées. Même si les énergies premières semblent avoir régressé (biomasse, traction animale...), elles n'ont pas diminué en valeur absolue du fait de l'évolution de la démographie mondiale.

Renouvelables et électrification

Dans le mix énergétique mondial, la part des énergies fossiles dans l'électricité n'a pas diminué, du fait des nouveaux consommateurs d'énergie (Chine, Inde, Afrique) qui surpassent l'Europe, premier consommateur au XIXème.

La transition commence à peine : il faut du temps pour que les nouvelles énergies remplacent les anciennes. Les coûts de l'éolien et du solaire sont en chute depuis 2010 passant de 250 à moins de 50$ MW/h. Les prévisions du mix de production européenne annonce l'éolien supérieur au solaire et au nucléaire dès 2030 car les besoins essentiels sont en hiver. Par contre dans les pays les plus peuplés à l'avenir, le solaire sera majoritaire avec une production mondiale solaire estimée à 38%.

D'après un scénario d'émission nulle en 2050 (publié en 2021), les renouvelables fourniront au total près de 90% de l'électricité et la part de l'électricité dans la demande finale d'énergie passe de 20% à 50% en 2050.

L'électrification est elle-même un acteur très fort en terme d'économie d'énergie, car l'efficacité des moteurs électriques est très supérieure à celle des moteurs à combustion (85% contre 25 à 40%) mais aussi grâce au chauffage à pompe à chaleur qui récupère plus d'énergie que celle consommée.

L'éolien maritime représente un potentiel énorme (non encore réalisé en France, malgré les qualifications de nos entreprises sur les activités off-shore).

La variabilité du solaire et du vent

La variabilité éolienne fait peur. La demande d'énergie est très fluctuante au cours de la journée et la part renouvelable faible pendant les heures de pointe.

On ne peut régler le problème des demandes de pointe mais on réduit la demande de base avec les renouvelables : par exemple en Allemagne, l'intégration des renouvelables rend possible la disparition du charbon, mais nécessite un maintien des centrales à gaz plus efficaces. En bilan, les émissions de CO_2 baissent entre 1990 et 2020.

L'intégration des renouvelables passe par un meilleur stockage énergétique, notamment hydrologique, par une plus grande flexibilité du système, par exemple en utilisant les heures creuses pour stocker de l'eau chaude ou du froid pour le distribuer ensuite.

Quels rôles pour l'hydrogène?

L'hydrogène par électrolyse de l'eau peut être compétitif car son coût, en baisse, dépend de celui de l'électricité. L'hydrogène vert, issu de biogaz (ammoniac ou méthanol) à partir de déchets agricoles ou industriels, permet de « verdir » les usages industriels de l'ammoniac et du méthanol (raffineries pour améliorer les carburants, réduction du fer en aciérie…).

L'avenir du transport terrestre passe plutôt par l'électrification que l'hydrogène : les batteries sont en rapide évolution et 95% du transport terrestre peut-être électrifié en étant trois à cinq plus efficace.

Par contre, l'hydrogène peut être intégré de manière efficace dans des systèmes : l'hydrogène comprimé peut être stocké longtemps en cavités salines, transporté sous forme liquide ; brûler temporairement dans des centrales thermiques sera nécessaire pour achever de décarboner la production d'électricité.

Le transport maritime se tourne vers l'ammoniac vert (ou bleu réalisé à partir de combustible fossile avec recaptage de CO_2) : les premiers cargos à ammoniac sont prévus pour 2024 en Chine.

Enfin, pour le transport aérien, l'électrification semble illusoire, car le carburant représente 45% du poids au décollage actuellement, les batteries actuelles sont inadaptées et l'hydrogène possède une trop faible densité en énergie comparativement aux carburants de synthèse qui semblent la seule option d'ici 2050.

Les ressources minières de la transition

La fabrication d'une voiture électrique ou d'une éolienne nécessite plus de minéraux. Il n'y a pas de problème de ressource absolue car la durée de vie des réserves reste inchangée depuis 40 ans, cependant il existe un décalage entre l'offre et la demande notamment en Cu, Li, Co. Ce problème est stratégique car un faible nombre de pays miniers extrait et la Chine consomme l'essentiel des minerais.

Cependant, l'extraction totale mondiale des minerais diminue car la baisse de l'extraction charbonnière compense la croissance de l'extraction de métaux.

Les mauvais procès faits aux batteries lithium-ion : les réserves en lithium sont de 900 ans et l'essentiel du lithium provient d'une mine en Australie et non des salars sud-américains. De plus on sait déjà bien recycler les batteries en fin de vie.

Enfin, même si l'extraction minière nécessite une dépense d'énergie, les émissions de GES sur le cycle de vie d'un véhicule électrique sont en moyenne la moitié de celles d'un véhicule thermique : dans l'état actuel, les véhicules électriques sont indispensables pour la transition énergétique.

La transition énergétique en France

En France d'ici 2050, la transition passera par l'augmentation de la part de l'électricité (25 à 55%) concomitante à une baisse globale des consommations d'énergie (1600 à 930 TWh).

La baisse du nucléaire est fatale du fait du vieillissement des centrales en France et le coût de leur remplacement semble trop fort, même avec les annonces présidentielles récentes.

Les scénarios économiques montrent que l'on ne sait pas réaliser la décarbonation de l'énergie sans développer massivement les énergies renouvelables : elles sont deux fois moins chères que le nucléaire aujourd'hui, même si le stockage coûte cher et que la construction nucléaire nécessite de la dette publique contrairement aux renouvelables dans lesquelles investissent des partenaires privés.

Pour conclure : comment éviter un désastre climatique

La transition énergétique nécessite d'améliorer l'efficacité énergétique et matérielle ; de généraliser la production électrique sans CO_2 et donc d'électrifier presque tout; d'utiliser l'hydrogène quand on ne peut pas faire autrement…

par Armand Audinos ■

Intelligence artificielle en santé- Révolution des cas d'usages et enjeux éthiques. – David GRUSON

Docteur en droit de la santé et titulaire d'un troisième cycle de technologies d'information et de la communication, David GRUSON est membre du Comité de direction de la Chaire santé de Sciences Po Paris. Il a exercé des fonctions à responsabilités dans le pilotage de notre système de santé mais également en direction d'établissement de santé. Il est engagé dans le cadre de l'initiative Ethik IA qui vise à la construction d'outils de régulation positive du déploiement de l'intelligence artificielle et de la robotisation en santé.

Le déploiement de l'IA va impacter massivement les prises en charges courantes et tous les segments de la médecine recourant directement au numérique et à la robotique.

La Garantie Humaine de l'IA est dans la loi de bioéthique, endossée par l'OMS et intégrée au Livre Blanc de la Commission européenne sur l'IA.

Des enjeux relatifs à l'IA en santé sont transposables plus largement à l'IA dans le domaine de la protection sociale. Un enjeu est le financement des innovations par l'assurance maladie ou mutuelles.

Le Big Data : l'apparence de la clarté

Apparente clarté opérationnelle lors de la collecte des données et juridique de par la très forte protection des données en France (cadre national de protection des données personnelles, RGPD).

En terme de santé publique le Big Data est un vecteur majeur d'avancées pour la qualité des soins, les droits des patients et la connaissance scientifique. Cependant, l'enjeu éthique nécessite de graduer les protections en fonction des données car toutes n'ont pas la même valeur (exemple des données génétiques).

Entre mythe et réalité : l'algorithmique génétique.

L'exemple du blob : cette cellule fonctionne comme algorithme d'apprentissage avec la possibilité d'un transfert d'apprentissage d'une cellule à l'autre : la cellule apprend de son environnement et peut transmettre cet apprentissage à une autre cellule par fusion des cytoplasmes.

Le concept de l'IA se trouve dans le vivant : le code binaire ressemble au code génétique, et par application aujourd'hui on utilise l'algorithmique pour étudier la génétique.

Des représentations numériques du vivant comme « l'Automate cellulaire » sont utilisées pour décrire le processus d'autoréplication : un objet mathématique, étudié en informatique théorique, évoluant par étapes selon des règles très simples et imitant d'une certaine manière les capacités autoreproductrices des êtres vivants. Il est constitué d'une grille dont les cases sont appelées "cellules", pouvant prendre plusieurs états (0=mort ou 1=vivant). Exemple du « Jeu de la vie », présenté par John Horton Conway en 1970.

L'IA en santé : une révolution des cas d'usage

L'hôpital et le cabinet libéral comme lieux de recours à des algorithmes d'IA : lieux majeurs de collecte des données et de Data Management (évaluation de l'efficacité médicale de l'IA ; mise en oeuvre de la Garantie Humaine de l'IA)

IA et image : la radiologie avec reconnaissance d'image est la technique la plus opérationnelle via l'apprentissage machine par reconnaissance d'images (ex : analyse préliminaire de fractures).

L'IA en ophtalmologie

IA et détection d'urgences rétiniennes (ex : DMLA)

IA et diagnostic : algorithme DX-DR des rétinopathies diabétiques en fonction des données médicales du patient avec efficacité conforme au médecin diabétologue.

IA et cancer

Une diffusion rapide de l'innovation au niveau mondial car l'IA est efficace pour mettre en jeu des dispositifs plus opérationnels comme l'analyse massive des clichés de tumeurs.

Exemple d'une IA, conçue par le MIT (Massachussetts Institute of Technology), capable d'identifier les métastases dans les ganglions lymphatiques susceptibles d'évoluer en cancer du sein avec un diagnostic correct pour 97 % des cancers nécessitant une intervention avec à la clé une réduction de 30 % du nombre d'opérations.

Une expertise française réelle avec un engagement fort des pouvoirs publics

(Plan Cancer), des bases de données de haute qualité, une recherche très structurée et des start-up fortement positionnées en oncologie (ex : Thérapixel en mammographie ; Optellium en pneumologie).

IA et vieillissement

Un rôle majeur de l'IA dans la prise en charge des personnes âgées à domicile : robots de stimulation neurocognitive ; objets connectés intelligents ; travaux plus fondamentaux sur la compréhension des mécanismes de neurodégénérescence cellulaire.

Les enjeux de la régulation de l'intelligence artificielle en santé

Eviter le refus, dû à des méfiances anciennes et persistantes, qui priverait des bienfaits actuels notamment dans le suivi des patients (car si on adopte une sur-réglementation on se prive des bienfaits de notre protection médicale pour aller vers des solutions hors France).

IA en santé et responsabilité : responsabilité du médecin lors de l'utilisation de l'IA sauf si l'IA dysfonctionne alors responsabilité au concepteur.

Envisager le « risque à terme » : avec l'apprentissage l'IA devient très différent de l'original, donc la responsabilité échappe au concepteur : c'est le « risque de développement » d'où la nécessité de développer un fond européen pour couvrir ce risque.

Le risque de délégation : l'IA choisit à la place des personnes, c'est une délégation de décision qui peut poser problème dans le cas de délégation de la décision médicale.

Ce risque est la balance entre intérêt individuel et collectif : IA réalise ses choix avec données traitées pour le plus grand nombre, tirera les conséquences de sa programmation et pourra être confrontée à des arbitrages entre la valeur de la vie individuelle et la préservation d'impératifs collectifs de santé publique (relecture de la première loi d'Asimov).

La mise en œuvre d'un principe de Garantie Humaine notamment sous la forme de Collèges de garantie humaine associant professionnels, patients et innovateurs en IA.

La reconnaissance de la « garantie humaine » est placée dans la loi de bioéthique 2021 et renforcée dans le projet du règlement de l'union européenne sur l'IA « Human oversight » par mise en œuvre de l'information des utilisateurs de la solution d'IA et la supervision humaine de l'IA dans sa phase de conception et dans son utilisation en vie réelle, dans une logique d'amélioration continue.

En conclusion, la loi informatique et libertés de 1978 et la construction du cadre juridique de la télémédecine, montrent que la France sait réglementer. Elle doit cependant trouver un équilibre entre soutien à l'innovation et besoin de régulation éthique. Les patients, les professionnels de santé et les concepteurs d'innovations sont au cœur de ces enjeux.

par Armand Audinos ■