



HAL
open science

Réparer la rupture métabolique de l'Anthropocène à travers une économie circulaire des excréta humains

Bertrand Valiorgue

► **To cite this version:**

Bertrand Valiorgue. Réparer la rupture métabolique de l'Anthropocène à travers une économie circulaire des excréta humains. Pesses de l'école des Mines. Economie Circulaire - imaginaires et pratiques, A paraître. hal-04404785

HAL Id: hal-04404785

<https://hal.science/hal-04404785>

Submitted on 19 Jan 2024

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

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

Réparer la rupture métabolique de l'Anthropocène à travers une économie circulaire des excréta humains

Pr. Bertrand Valiorgue

Pour citer ce texte : Valiorgue, B., (2024), « Réparer la rupture métabolique de l'Anthropocène à travers une économie circulaire des excréta humains », In *Economie Circulaire - imaginaires et pratiques*, Ed. Aurélien Acquier, Franck Aggeri, Valentina Carbone, Olivier Lecointe, Eric Lesueur, Paris, Pesses de l'école des Mines

« *Les gens ne sont jamais reconnaissants lorsqu'on les oblige à penser à leur propre merde* ».
Carolyn Steel

L'alimentation et l'agriculture sont des vieux sujets pour toutes les sociétés humaines. Les questions qu'elles posent semblent en première lecture peu intéressantes et anachroniques au regard de certains défis contemporains comme la conquête spatiale, l'intelligence artificielle, la blockchain, l'énergie, l'allongement de la vie... C'est pourtant l'avenir de notre espèce qui se joue autour de ce que nous mangeons. La production de notre alimentation est directement à l'origine de nombreuses nuisances sur le système Terre qui nous font basculer dans l'ère de l'Anthropocène (Michel, Saleilles & Valiorgue, 2023). Le contenu de nos assiettes participe directement et massivement à l'émission de gaz à effet de serre, à l'extinction des espèces et aux dépassements des limites planétaires (Valiorgue, 2020b; Willett et al., 2019). Cette participation active de l'agriculture et de l'alimentation à la destruction du système Terre tel que les sociétés humaines le connaissent depuis 10 000 ans provient d'une rupture métabolique dans le cycle des nutriments. Les fondements de la crise agricole et alimentaire que nous connaissons aujourd'hui et qui va s'aggraver demain proviennent de cette rupture métabolique.

Cette rupture métabolique repose sur un constat simple mais masqué par plusieurs siècles de civilisation : une partie des nutriments prélevés dans les sols pour produire notre nourriture ne retourne pas dans ces sols du fait d'une déconnexion entre les lieux de production de notre nourriture et les lieux de consommation et de déjection. Les sols de la campagne qui produisent notre alimentation s'appauvrissent irrémédiablement car ils ne récupèrent pas les macronutriments contenus dans les excréta humains qui sont rejetés dans les égouts et les stations d'épuration des villes. Dans ces conditions, seul un apport de fertilisants artificiels peut maintenir leur fertilité. Ce bouclage artificiel du cycle des nutriments à travers des engrais de synthèse entraîne une débauche énergétique et une émission gigantesque de gaz à effet de serre. Une solution plus logique et beaucoup moins impactante consisterait à boucler ce cycle des nutriments à partir d'une économie circulaire des excréta humains. C'est la thèse que nous soutenons dans ce chapitre.

Nous proposons dans un premier temps de revenir sur la notion de rupture métabolique en étudiant ses origines conceptuelles dans les travaux de Karl Marx qui est le premier à avoir mis en évidence l'ampleur du phénomène au sein de son économie politique. Le détour par les travaux de Marx permet par ailleurs de positionner la rupture métabolique dans la dynamique plus large des économies capitalistes qui se généralisent à l'échelle planétaire. Dans un second temps, nous revenons sur les dimensions contemporaines de la rupture métabolique. Nous montrons que cette dernière est désormais globale et qu'elle est directement à l'origine de la grande bascule dans l'Anthropocène. Nous terminons le chapitre en évoquant la nécessité d'une économie circulaire des excréta humains pour boucler le cycle des nutriments de manière naturelle et se faisant atténuer l'ampleur des transformations du système Terre auxquelles les sociétés humaines vont être confrontés.

La notion de rupture métabolique chez Marx

La pensée de Karl Marx a souvent été critiquée pour ne pas avoir intégrée les problématiques environnementales et privilégier l'analyse des contradictions et des conflits sociaux que génère le déploiement du capitalisme. Au-delà de la négligence des problématiques environnementales, certains auteurs lui reprochent même d'avoir été le théoricien d'une soumission de la nature aux besoins des humains par le truchement d'un appareillage technique et technologique capable de libérer l'humanité des fardeaux de l'existence (Benton & Dubois, 1992). Cette vision s'avère grandement simplificatrice car Marx s'est au contraire directement penché sur les relations entre l'environnement naturel et l'activité des entreprises (Saitō, 2021). Il a pour se faire forger des analyses originales qui ont été mises à jour au tout début des années 2000 par des auteurs comme Foster (Foster, 1999, 2000), Moore (Moore, 2011) et Burkett (Burkett, 1999). Ces travaux se sont développés à partir des principaux écrits de Marx et en particulier de certains passages du Capital.

Plus récemment, des progrès considérables sur la compréhension de la pensée écologique de Marx ont été accomplis par Saito à partir de l'étude de sa correspondance et de ses notes de lecture durant les dernières années de sa vie (Saitō, 2021). Sur la base de ce travail d'exégèse et plus singulièrement des cahiers sur l'agriculture rédigés par Marx, Saito arrive à la conclusion que sa pensée environnementale¹ est « *si évidente que l'on peut se demander pourquoi elle a été négligée pendant si longtemps et pourquoi certains ont refusé avec tant d'obstination de reconnaître son importance théorique comme fondement pour la critique écologique du capitalisme* » (Saito, p. 4).

A défaut d'une écologie politique aboutie, la pensée environnementale de Marx s'articule autour de la notion de rupture métabolique. Cette notion analytique est issue des recherches que l'auteur menait sur les tenants et aboutissants de la révolution agricole du XIX^{ème} siècle qui soutenait activement le développement du capitalisme. Marx arrive à la conclusion que le développement du capitalisme « *perturbe le métabolisme entre l'homme et la terre, c'est-à-dire le retour au sol des composantes de celui-ci usées par l'homme sous forme de nourriture et de vêtements, donc l'éternelle condition d'une fertilité durable du sol* » (Marx, 1993 pp. 565-566 cité par Saito, 2021 p. 8). Pour Marx, le développement de l'agriculture capitaliste produit « *des conditions qui créent une rupture irrémédiable dans la connexion entre le métabolisme social et le métabolisme naturel prescrit par les lois naturelles du sol* » (Marx, cité par Béguin, 2022, p. p. 169). Ce fort intérêt de Marx sur les lois naturelles du sol doit être mis en perspective avec les débats théoriques que ce dernier entretenait

¹ Il est important de souligner que l'écologie politique développée par Marx est inachevée. Elle existe comme le note Béguin « *sous la forme d'un matériau brut que Marx n'a pas eu le temps d'organiser lui-même* » (Béguin, 2022).

avec d'autres économistes (et notamment Ricardo) sur la rente foncière et la loi des rendements décroissants du sol (Béguin, 2022; Saitō, 2021). Marx entendait déconstruire la perspective ricardienne en mobilisant des travaux en chimie. Ces travaux mettaient en évidence les lois naturelles du sol qui entraient en contradiction avec la vision dominante des économistes de l'époque. Marx souhaitait corriger les erreurs du discours économiques en l'ancrant dans la science naturelle et plus particulièrement dans la chimie du sol (Béguin, 2022). Mais de quoi Marx parle-t-il quand il évoque les lois naturelles du sol ?

Ces lois naturelles du sol ne sont pas celles Marx mais celles du chimiste allemand Justus von Liebig (1803 – 1873) dont Marx a pratiqué une lecture assidue durant de nombreuses années. Justus von Liebig pratiquait la chimie organique et il s'est en particulier penché sur le fonctionnement des sols à travers des travaux qui furent décisifs pour les développements contemporains de l'agronomie et de l'agriculture.

Les travaux de Liebig ont permis de comprendre que la culture des plantes (orge, blé, betteraves, riz...) à des fins agricoles et alimentaires conduisait à un épuisement progressif des sols. Cet épuisement des sols était connu depuis quasiment l'invention de l'agriculture mais ces causes demeuraient obscures. Justus von Liebig a mis en évidence que cet épuisement provenait de la perte progressive de trois macronutriments primaires - le phosphore, la potasse et l'azote - qui sont présents en quantité limitée dans les sols et qui sont indispensables pour la croissance des végétaux. Cette découverte fut décisive par rapport au développement de l'agriculture et dans un premier temps, Liebig s'est montré très enthousiaste. L'épuisement des sols en macronutriments primaires pouvait être comblé par l'apport d'engrais susceptibles d'apporter aux plantes les éléments dont elles ont besoin pour croître. C'est d'ailleurs à ce titre que Liebig est souvent reconnu comme étant l'inventeur des engrais fertilisants. Mais au fur et à mesure du développement de ses travaux, Liebig a développé une perspective de plus en plus critique à l'égard des pratiques agricoles et plus spécifiquement de ce que l'on nommait à l'époque le « high farming » (Perry, 1981).

Ce « high farming » s'est développé en Angleterre et aux Etats-Unis pendant toute la seconde moitié du XIX^{ème} siècle. Il consistait à intensifier les pratiques agricoles et à faire grandement évoluer le système de polyculture-élevage. Il se caractérisait par trois ruptures rapport à des pratiques ancestrales. La première rupture consistait à supprimer les temps annuels de jachère qui permettaient au sol de naturellement se reconstituer entre les récoltes de céréales. La deuxième rupture consistait à pratiquer l'achat d'aliments plus nutritifs afin d'améliorer le rendement des animaux d'élevage. Quant à la troisième rupture, elle consistait à avoir recours à des engrais pour fertiliser les sols et obtenir des rendements supérieurs pour les plantes.

Toutes ces transformations des pratiques agricoles visaient à améliorer la fertilité des sols pour améliorer la productivité des plantes et des animaux. Liebig considérait que cette intensification des pratiques était grandement problématique pour les sols et c'est en ce sens qu'il parlait « *d'agriculture rapace* » et d'une « *exploitation abusive* » pour désigner le système du « high farming ». Pour Liebig, cette « *agriculture rapace* » pille les ressources du sol sans restitution suffisante et entraîne un épuisement qui expose l'Europe à de graves crises alimentaires, voire civilisationnels (Béguin, 2022; Von Liebig, 2013). Liebig est ainsi passait d'une perspective optimiste en considérant que les engrais artificiels apportés dans les sols pourraient limiter les baisses de rendement à une perspective critique face aux difficultés, nuisances et impasses qu'allait engendrer la fabrication de ces engrais et fertilisants artificiels.

Si l'on suit les analyses de Béguin (2022), cette lecture attentive et constante des travaux de Liebig autour des lois naturelles du sol a permis à Marx de prendre conscience de quatre éléments qui

seront directement intégrés dans son économie politique et restitués dans certains passages du Capital :

- La recherche de gains de productivité en agriculture et les changements de pratiques qui sont introduits en Angleterre et aux Etats-Unis au XIX^{ème} siècle pour forcer la productivité des plantes et des animaux entraînent un pillage des sols et une baisse inéluctable de leur fertilité. Les gains de productivités pour produire une alimentation peu coûteuse sont réalisés sur la base d'une agriculture qui n'est fondamentalement pas durable. C'est sur ce point particulier que Marx élabore une connexion directe entre le déploiement du capitalisme et ses rapports à l'environnement naturel via les pratiques agricoles. Le déploiement du capitalisme et d'une classe de travailleurs imposent de contenir au maximum le coût de l'alimentation afin de ne pas provoquer des émeutes de la faim et de limiter au maximum la part de la dépense alimentaire nécessaire à la reproduction de la force de travail. Contenir le poste alimentaire des travailleurs est une nécessité économique et politique afin de limiter les salaires et se faisant dégager des bénéfices pour les capitalistes. Le déploiement du capitaliste exige une agriculture productive dont la conséquence directe est d'épuiser les sols en même temps que les travailleurs. **Capitalisme et productivité agricole sont intimement liés.**
- Face à l'épuisement des sols, les agriculteurs sont obligés de faire évoluer leurs assolements et d'intégrer la culture de nouvelles plantes comme les pommes de terre. Ces évolutions des cultures imposées par la baisse de fertilité des sols ont des conséquences sur l'alimentation des humains dont les apports en protéines s'avèrent insuffisants. Les nouvelles pratiques agricoles pour réduire le coût de l'alimentation et contenir les salaires sont à l'origine de carences alimentaires chez les humains. Le déploiement du capitalisme au XIX^{ème} siècle a imposé un régime alimentaire aux humains dont les caractéristiques impactent directement la physiologie humaine et son développement physique et cognitif. **Capitalisme et régime alimentaire des humains sont intimement liés.**
- La perte de fertilité des sols est aggravée par une déconnexion croissante entre les lieux de production et de consommation de la nature. La nourriture est produite sur les sols de la campagne mais les déchets organiques des humains qui consomment cette nourriture sont produits dans les villes. Les nouvelles conditions sociales, l'urbanisation et la mise en place du tout à l'égout brise le cycle métabolique sols. Le cycle production de denrées alimentaires – déchets organiques humains – retour des nutriments (azote, phosphore, potassium) dans les sols est brisé. Il y a une rupture métabolique du cycle des macronutriments. Cette rupture provient directement du déploiement du capitalisme qui impose la domination de la ville par rapport à la campagne pour les besoins de nourriture. Cette domination politique a une composante biochimique dont Marx a parfaitement compris l'importance. L'azote, le phosphate et le potassium sont prélevés dans les sols de la campagne pour l'élevage des animaux et la culture des plantes et ils sont rejetés dans les toilettes des urbains et les réseaux d'égouts. Le déploiement du capitalisme brise le cycle des nutriments et pose des défis agricoles d'une ampleur inédite. **Le capitalisme est intimement lié et connecté à des cycles biochimiques qu'il perturbe grandement.**
- La recherche d'une productivité agricole et la baisse de la fertilité des sols qu'elle entraîne inéluctablement nécessitent le recours à des engrais minéraux et la recherche de fertilisants de synthèse. Cette recherche de fertilisants entraîne avec elle tout une géopolitique pour extraire des minéraux ou des engrais à l'échelle du globe. Dès le milieu du XIX^{ème} et

conformément aux prédictions de Liebig, la baisse de fertilité des sols atteints des niveaux inquiétants. Pour pallier cette baisse de fertilité, les européens ont dans un premier temps importé le guano des îles Chincha pour fertiliser les sols et maintenir les rendements. Cette source de minéraux s'est très rapidement tarie et les européens ont dû chercher d'autres sources d'approvisionnement en minéraux en se rendant notamment au Chili qui en 1900 produisait les deux tiers des engrais consommés à l'échelle du globe (Wisniak, 2002). Le maintien d'une fertilité des sols entraîne avec lui tout le développement d'une industrie chimique qui va apporter des palliatifs. **Le déploiement du capitalisme induit toute une géopolitique agricole afin de sécuriser les approvisionnements en fertilisants.**

Les travaux de Liebig apportent à Marx une prise de conscience et des catégories analytiques qui lui permettent de mettre en perspective les transformations de l'agriculture dans une dynamique économique et politique beaucoup plus large. Ils lui permettent de comprendre qu'une rupture métabolique est en train de s'installer entre le mode de vie des humains et le fonctionnement naturel des sols à partir de laquelle l'alimentation des humains est produite. Le mode de vie des humains (en Occident) conduit à un épuisement des sols et un accaparement des ressources naturelles du fait d'une « *agriculture rapace* ». Pour Marx, le capitalisme pille les travailleurs en s'appropriant indument une survaleur en même temps qu'il pille les sols en extrayant sans les restituer une partie de ses éléments essentiels : « *la production capitaliste ne développe la technique et la combinaison du procès de production social qu'en ruinant dans le même temps les sources vives de toute richesse : la terre et le travailleur* » (Marx, cité par Béguin, 2022, p. p. 171).

Les dimensions de la rupture métabolique contemporaine

La pensée écologique de Marx est issue d'une analyse fine des transformations agricoles de son siècle qu'il articule et synthétise au sein de son économie politique. Cette synthèse est effectuée à travers la notion de rupture métabolique à laquelle nous souhaitons désormais apporter une lecture contemporaine à la suite de nos propres travaux (Valiorgue, 2020b, 2022, 2023a, 2023b; Valiorgue, Labardin, & Bluntz, 2022) et de ceux de Saito (Saito, 2022; Saitō, 2021). Si l'on suit ces travaux, la notion de rupture métabolique recouvre aujourd'hui trois dimensions principales. Elle constitue un élément clé de la grande bascule dans l'Anthropocène.

Une dimension biochimique.

Cette première dimension renvoie au fonctionnement de l'activité agricole et en particulier de l'utilisation intensive des sols afin de produire une biomasse dont la destination est alimentaire mais également vestimentaire. Cultiver des plantes (des céréales, des légumes, des légumineuses, du chanvre, du lin, du coton...) suppose de mobiliser un certain nombre d'éléments contenus dans le sol et en particulier des substances minérales et des macronutriments primaires comme le phosphore, la potasse et l'azote. Ces éléments doivent être restitués à ces mêmes sols sous peine de voir la fertilité s'effondrer. Cette loi naturelle des sols est connue depuis les travaux de Liebig que nous avons préalablement détaillés.

Ce retour implique en théorie une dispersion des excréta humains sur les sols afin que les minéraux qu'ils contiennent retournent dans les sols et alimentent une dynamique de régénération de la fertilité. Mais comme il y a une déconnexion entre les lieux de production de la nourriture c'est à dire les sols à la campagne et les lieux de consommation et déjection qui se situent dans les villes, ce cycle des nutriments est rompu. Les excréta humains et les minéraux qu'ils contiennent ne retournent pas dans les sols mais se déversent dans des réseaux de tout à l'égout et les stations d'épuration.

Face à ce constat implacable mis en évidence par von Liebig et parfaitement intégré par Marx, le salut viendra des progrès de la chimie et plus particulièrement de la découverte du procédé Haber Bosch au début du XX^{ème} siècle. Cette invention, qui vaudra à son inventeur un prix Nobel, a permis de mettre au point la fabrication des engrais de synthèse et en particulier les engrais azotés. L'agriculture telle qu'elle fonctionne depuis plus de 150 ans n'est jamais parvenu à résoudre la rupture métabolique qu'elle a initié au XIX^{ème} siècle. Elle ne l'a jamais résolu car les excréta humains ne retournent pas dans les sols qui produisent l'alimentation. Le cycle des macronutriments demeure brisé depuis bientôt 200 ans. La baisse inéluctable de la fertilité des sols a été provisoirement résolue par un recours progressif puis massif à partir de la seconde moitié du XX^{ème} siècle avec des fertilisants de synthèse fournis par les industriels de l'agrochimie.

Si nos sociétés contemporaines ont augmenté les rendements des plantes et des animaux dans des proportions inimaginables au XIX^{ème} siècle, elles n'ont fait qu'aggraver la fracture métabolique mise en lumière par Liebig et Marx. Elles l'ont même grandement accentué et masqué avec un recours massif aux fertilisants de synthèse. L'augmentation de la productivité agricole et l'abondance alimentaire que nous connaissons en Occident ne doivent pas masquer le fait que nous n'avons jamais cessé d'aggraver la rupture métabolique qui s'est mise en place au moment de la révolution industrielle, du déploiement du capitalisme et de l'urbanisation des sociétés.

Une dimension spatiale et géographique.

Cette rupture métabolique a également une dimension spatiale et géographique qui fait qu'aujourd'hui elle est observable à l'échelle de la planète tout entière. Le développement des sociétés humaines fabrique une rupture métabolique d'une ampleur géographique totalement inédite.

Le développement contemporain des sociétés humaines est caractérisé par un accroissement considérable de la population urbaine (Kraas & Coy, 2016). Le phénomène est particulièrement visible en Chine, en Inde et en Afrique. En 2006 et pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, la population mondiale est devenue majoritairement urbaine et selon les Nations Unies, 80% des humaines habiteront dans des villes en 2050. Si cette tendance s'affirme cela veut dire très concrètement que les villes vont devoir accueillir plus de 3 milliards d'urbains tout en sachant qu'elles engloutissent d'ores et déjà 75% des ressources alimentaires mondiales (Steel, 2021). Cette urbanisation des sociétés humaines passe par un allongement considérable des chaînes de valeur alimentaire car « *entre le producteur et le consommateur, il y a désormais de nombreux kilomètres mais également de nombreux acteurs qui prennent en charge la logistique, la transformation et la commercialisation des denrées alimentaires. Chaque étape faisant l'objet d'opérations qui coûtent et qui doivent être rémunérées. Étapes qui s'avèrent également polluantes du fait du caractère périssable des matières premières alimentaires qui doivent être stockées et transportées dans des conditions particulières afin que leurs caractéristiques nutritionnelles soient conservées* » (Valiorgue, 2020b).

Cette urbanisation et l'allongement concomitant des chaînes de valeur alimentaire sont la traduction d'une augmentation en volume et en distance des denrées alimentaires qu'il faut faire passer des villes à la campagne. Les hinterlands² des grands centres urbains et des « megacities » contemporains se situent désormais à l'échelle planétaire sur la base de chaînes de valeur alimentaires globalisées. Etant donné que le développement urbain que nous connaissons actuellement se fait dans des conditions de non-bouclage du cycle des nutriments, il entraîne avec lui

² Défini comme la zone d'influence et d'approvisionnement d'une ville.

une aggravation et accélération de la rupture métabolique. Plus les villes s'agrandissent, plus il faut aller chercher la nourriture loin et plus le cycle des nutriments est perturbé. Cette perturbation est aujourd'hui positionnée à une échelle globale quand on sait par exemple que la Chine est aujourd'hui le principal pays importateur de soja destiné à la consommation des animaux d'élevage. Ce soja vient en grande majorité du Brésil et de l'Argentine qui disposent de conditions agronomiques et de normes environnementales de production particulièrement favorables (recours aux engrais, pesticides et OGM). Comme l'Europe durant le XIX^{ème} siècle, la Chine et son développement urbain galopant alimente une rupture métabolique d'une ampleur inégalée. Les sols du Brésil et de l'Argentine s'appauvrissent en nutriments car ces derniers sont rejetés dans les réseaux d'égouts des villes chinoises. Les grands centres urbains mobilisent et surexploitent aujourd'hui les sols des campagnes à l'échelle globale.

La deuxième composante spatiale de la rupture métabolique est liée aux recours aux engrais et aux fertilisants. Pour fabriquer ces derniers, il faut les extraire dans le sol (en ce qui concerne le phosphate et le potassium). Cette extraction se fait dans de gigantesques mines dont le fonctionnement entraîne des chaînes de valeur qui elles aussi sont mondialisées. Ces engrais sont indispensables pour maintenir la fertilité des sols et ils circulent aujourd'hui à l'échelle du globe. En 2016, c'est plus de 255 millions de tonnes de roches qui ont été extraites pour récupérer du phosphore dont la principale destination est les engrais agricoles (90% des volumes extraits) (Danino-Perraud, 2021). Le potentiel en matière de phosphore est limité et certaines analyses vont ressortir que d'ici la fin du XXI^{ème} siècle les ressources en phosphores seront épuisées (Reitzel et al., 2019). Le phosphate fait à ce titre parti depuis 2014 de la liste des matières premières critiques de l'Union européenne. Les principaux pays producteurs sont la Chine (qui exporte très peu) ainsi que le Maroc et les Etats-Unis qui tirent des revenus considérables de leurs exportations de phosphate (Danino-Perraud, 2021). L'Europe importe 85% de ses besoins en phosphore pour la production agricole. En ce qui concerne le potassium, qui ne fait pas parti des matières minérales critiques, sa production est dominée par le Canada (un tiers de la production mondiale), la Biélorussie (21%) et la Russie (18%). La question des approvisionnements en azote est différente car ce dernier n'est pas extrait du sol mais de l'air. Sa production est plus décentralisée et la plupart des puissances agricoles s'engagent dans productions sur leurs territoires à travers une production domestique. Cette production nécessite en revanche une consommation très importante d'énergie et notamment de gaz pour faire fonctionner les réacteurs. Si la chaîne de valeur de la production de l'azote est moins globalisée que celles du phosphore et de l'azote, elle est en revanche très dépendante des énergies fossiles qui sont dans la plupart des cas importées.

La rupture métabolique que Marx a documenté en son temps sur certaines parties du continent européen est aujourd'hui entièrement mondialisée. Le développement de cette rupture métabolique globale entraîne avec elle une extraction gigantesque de roches pour récupérer du phosphore et du potassium afin de fabriquer des engrais et des fertilisants artificiels pour les sols. La rupture métabolique fabrique et fait prospérer toute une partie des industries extractives que nous connaissons aujourd'hui. Cette rupture métabolique se traduit par une perturbation des cycles biochimiques de l'azote, du phosphore et du potassium à une échelle qui est désormais globale. Ces trois éléments sont de plus en plus prélevés dans le sol et dans l'atmosphère (en ce qui concerne l'azote) mais ne retournent pas dans les sols. On les retrouve dans les égouts des villes et les stations d'épuration. Les travaux de Rockstrom sur les limites planétaires mettent bien en évidence la perturbation généralisée du cycle des macronutriments (Steffen et al., 2015). Sur les 9 limites planétaires identifiées, les cycles du phosphore et de l'azote sont clairement identifiés comme étant très fortement perturbés. La perturbation de ces cycles est directement issue des gigantesques efforts accomplis par les sociétés humaines pour compenser la baisse de fertilité des sols générée par

une rupture métabolique dont les proportions ne vont que s'aggraver. Les besoins en fertilisants agricoles pour compenser la rupture métabolique est au cœur des perturbations du système Terre et de la grande bascule dans l'Anthropocène (Valiorgue, 2020b).

Une dimension énergétique.

La composante énergétique de la rupture métabolique était très peu présente voire absente des analyses de Liebig et Marx car ils n'ont historiquement pas été en mesure d'observer les dynamiques liées à la mécanisation massive de l'agriculture et le recours tout aussi massif aux engrais et fertilisants artificiels.

Le recours à ces engrais et fertilisants dont nous venons de montrer le caractère incontournable nécessite une très importante consommation d'énergie. Il faut de l'énergie pour extraire, stocker, trier et transporter les roches et minéraux mais il faut également de l'énergie pour activer les processus chimiques qui vont permettre de mettre sur pied les engrais directement utilisables par les agriculteurs. Le procédé Haber-Bosch dont nous avons relevé l'importance plus haut pour fabriquer des engrais azotés est à cet égard un gouffre énergétique. Il faut en effet parvenir à combiner dans des réacteurs de l'hydrogène et du diazote contenu dans l'air et activer une réaction qui consomme énormément d'énergie. Saito avance les chiffres de 2% de l'énergie mondiale consommée et 1% des émissions de CO₂ pour fabriquer uniquement des engrais azotés. Ces besoins énergétiques pour fabriquer les engrais ne font qu'augmenter du fait de l'aggravation de la fracture métabolique générée par l'urbanisation des sociétés humaines et la rupture du cycle des nutriments. Ces besoins énergétiques tout au long de la chaîne de valeur des engrais contribuent à massivement rejeter du CO₂ dans l'atmosphère et la perturbation des équilibres du système Terre.

La recherche de gains de productivité en agriculture est également passée par le recours à tout un appareillage technique et une mécanisation qui ont transformé le visage de l'agriculture tout au long du XX^{ème} siècle³ (Mazoyer & Roudart, 2017). Si les gains effectués sont effectivement très importants c'est au prix d'une consommation énergétique qui n'a fait qu'augmenter dans les mêmes proportions (Mercier, 1978). La mécanisation de l'agriculture a induit une dépendance et une forte consommation d'énergies fossile et nucléaire dont nous sommes aujourd'hui pleinement dépendants. La numérisation actuelle de l'agriculture et l'émergence des technologies du « smart farming » ne font qu'accentuer la croissance des besoins énergétiques pour maintenir les niveaux de productivité des plantes et des animaux (Hollandts & Valiorgue, 2016). Le besoin de maintenir le plus bas possible les coûts de production de l'alimentation est historiquement passé par la substitution du travail humain par le capital en recourant à des machines et des outils. Ces derniers ont effectivement permis d'atténuer la rudesse des travaux agricoles et de participer à d'importants gains de productivité. La conséquence est en revanche la création d'une importante dépendance énergétique de l'agriculture qui ne peut pas se passer aujourd'hui des énergies fossiles sous peine de voir les rendements des plantes et des animaux diminuer et augmenter en conséquence les coûts de production de l'alimentation. Dans son ouvrage consacré à l'alimentation des villes et le développement de la productivité agricole, Carolyn Steel estime qu'il fallait au début des années 2000, quatre barils de pétrole par an pour nourrir un mangeur britannique et près du double pour un mangeur américain (Steel, 2021). La mécanisation de l'agriculture et sa dépendance concomitante aux énergies fossiles est elle aussi un puissant facteur qui explique le tournant de l'Anthropocène.

³ Le phénomène était déjà à l'œuvre au XIX^{ème} siècle mais il s'est généralisé et densifié essentiellement à partir de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle est la révolution verte.

L'inévitable économie circulaire des excréta humains

La question de l'alimentation et de sa production est un enjeu qui traverse toutes les sociétés humaines depuis les premiers âges. Elle a toujours suscité l'inquiétude des gouvernants qui mobilisent des ressources et des moyens considérables pour sécuriser l'accès aux denrées alimentaires. Un survol rapide du fonctionnement de nos sociétés contemporaines pourrait laisser penser que le sujet est aujourd'hui réglé du fait d'une abondance de denrées alimentaires accessibles au plus grand nombre (Valiorgue, 2020a). Nos systèmes alimentaires sont en réalité éminemment fragiles et le masque de l'abondance cache une problématique essentielle que nous allons devoir affronter et traiter dans les années qui viennent : la rupture métabolique (Valiorgue, 2020b). Cette immense fragilité de nos systèmes économiques parfaitement repérée et analysée par Marx au XIX^{ème} siècle est non seulement toujours présente mais dans des proportions qui sont désormais globales (Saitō, 2021).

Tous nos systèmes alimentaires et plus généralement l'ensemble de nos économies sont construits à partir d'une rupture métabolique qui n'a fait que s'aggraver et s'accélérer durant ces dernières années. Cette rupture métabolique vient d'un phénomène et d'une réalité biochimique que nous ne voulons pas regarder en face : les nutriments que nous prélevons dans les sols pour produire notre nourriture ne retournent pas dans les sols car nos déjections sont orientées vers les réseaux d'égouts et les stations d'épuration. Nos modes de développement et nos habitudes culturels par rapport à nos excréta ont brisé les lois naturelles du sol et le cycle des nutriments. La lettre écrite dans les années 1840 par Liebig au Premier ministre anglais Robert Peel par rapport à des projets d'urbanisme est d'une actualité contemporaine évidente. Celui-ci écrivait en effet que « *la cause de l'épuisement du sol est à rechercher dans les us et coutumes des citadins, à savoir dans la construction de water-closets, qui empêchent de recueillir et de préserver les excréments liquides et solides. En Grande-Bretagne, au lieu de retourner dans les champs, ces derniers sont rejetés dans la mer en passant par les rivières. L'équilibre de la fertilité du sol est compromis par ce retrait continu de phosphates, et ne peut être rétabli que par un apport équivalent* » (Liebig, 1840 cité par Steel, 2021, pp. 344-345).

Cette brisure du cycle des nutriments n'est pas une fatalité et la mise en perspective historique réalisée par Carolyn Steel montre que les choses ont été très différentes dans le passé (Steel, 2021). Les travaux de l'historien des déchets Ronald Reid vont dans la même direction. Il montre que certaines villes ont mis au point une véritable « écologie urbaine » autour des déchets organiques humains. Les restes de nourriture étaient utilisés pour nourrir des cochons qui étaient élevés dans les villes, les excréta des humaines et des animaux étaient recueillis pour servir de fumier dans les jardins urbains mais également pour les cultivateurs à la campagne, l'urine et les excréments fermentés étaient essentiels à plusieurs débouchés comme la teinture et la fabrication du papier (Reid, 2019). Le philosophe Pierre Leroux a développé une théorie du circulus dont la finalité est bien le bouclage du cycle des nutriments à partir d'une utilisation des excréta humains. Pour Leroux, le bouclage de ce cycle est le meilleur moyen d'assurer la sécurisation alimentaire des humains. Cette théorie du circulus fut reprise par Victor Hugo dans certains passages des Misérables. Elle servit également de support à des expérimentations très pratiques du recyclage des excréta humains dans la ville de Gennevilliers sous l'égide d'Adolphe Mille (un ingénieur hydraulicien). Celui-ci mis au point une boucle de recyclage pour alimenter des jardins, des exploitations agricoles et du maraichage dans la ville. Les performances agronomiques furent remarquables et « *Gennevilliers devint le fournisseur agricole le plus prisé de la capitale, les meilleurs hôtels de Paris s'arrachant ses produits et les visiteurs venant s'émerveiller devant ces véritables jardins d'Eden* » (Steel, 2021, p. 376).

Face au caractère désormais global de la rupture métabolique et de ses conséquences biochimiques, énergétique et politiques qui nous font basculer dans l'Anthropocène, une économie circulaire des excréta humains doit être imaginée et mise en œuvre. Il semble indispensable de changer nos habitudes culturelles et notre rapport à nos déchets organiques et de les envisager comme des sources de fertilisants qui sont indispensables au bouclage du cycle de macronutriments (phosphore, azote, potassium). Cette économie circulaire des excréta humains pose bien évidemment un défi logistique car il consiste à revoir tous les systèmes de collecte et de traitement des excréta humains qui sont aujourd'hui centralisés dans la logique du tout à l'égout. Il pose également un défi en matière de traitement de ces excréta qui sont contaminés par de nombreuses substances chimiques (antibiotiques) mais également des métaux lourds qui doivent être retirés avant d'envisager un retour au sol pour un usage agricole et donc alimentaire. Mais le plus grand défi est sans doute d'ordre culturel car il faudra que nous changions d'imaginaire par rapport à nos excréta. L'immonde et le rebutant que nous voulons bannir de notre civilisation est en réalité un facteur de fertilité et de développement. Les excréta humains sont l'élément manquant du cycle de la vie et leur invisibilisation et détournement est au cœur de la grande bascule dans l'Anthropocène. Compte tenu des contraintes énergétiques, biologique et alimentaires qui vont s'imposer aux sociétés humaines, cette économie circulaire des excréta humains semble inévitable. Même si l'argent n'a effectivement pas d'odeur⁴, il reste désormais à savoir si le déploiement du capitalisme dans ses formes contemporaines est susceptible d'opérer un important changement d'imaginaire par rapport à nos propres excréta qui irait à rebours de plusieurs siècles de civilisation afin de mettre sur pied une économie circulaire.

Bibliographie

- Béguin, V. (2022). Une hypothèse sur la genèse de la pensée écologique marxienne. *Actuel Marx*, 71(1), 157-174.
- Benton, T., & Dubois, N. (1992). Marxisme et limites naturelles: critique et reconstruction écologiques. *Actuel Marx*, 59-95.
- Burkett, P. (1999). *Marx and nature: A red and green perspective*. London: Springer.
- Danino-Perraud, R. (2021). Phosphates et agriculture: de la géologie à la géopolitique. In S. Abis & M. Brun (Eds.), *Le Déméter 2021* (pp. 95-113). Paris: IRIS éditions.
- Foster, J. B. (1999). Marx's theory of metabolic rift: Classical foundations for environmental sociology. *American journal of sociology*, 105(2), 366-405.
- Foster, J. B. (2000). *Marx écologiste*. Paris: Éditions Amsterdam.
- Hollandts, X., & Valiorgue, B. (2016). *Référentiel pour une gouvernance stratégique des coopératives agricoles*. Clermont-Ferrand: Chaire Alter-Gouvernance - Université Clermont Auvergne.
- Kraas, F., & Coy, M. (2016). *Megacities*. Paris: Springer.
- Mazoyer, M., & Roudart, L. (2017). *Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine*. Paris: Le Seuil.
- Mercier, J.-R. (1978). *Energie et agriculture; le choix écologique*. Paris: Debard.
- Michel S., Saleilles S., Valiorgue B., (2023), Les systèmes alimentaires de l'Anthropocène : résilients, durables et apprenants, *Systèmes alimentaires/Food systems*, 8, pp. 169-182
- Moore, J. (2011). Transcending the metabolic rift: a theory of crises in the capitalist world-ecology. *The Journal of Peasant Studies*, 38(1), 1-46.

⁴ Il est intéressant de connaître l'origine de l'expression « l'argent n'a pas d'odeur » dont l'origine est latine « pecunia non olet ». L'empereur Vespasien (9 - 79) a mis en place une taxe sur l'urine dans les latrines publiques afin de couvrir le coût de la collecte et du traitement. Son fils Titus trouvant cette mesure abusive face à un besoin naturel se plaignit de cette mesure. L'empereur Vespasien mit son fils face à la réalité des montants récupérés et lui demanda si cet argent sentait mauvais (Steel, 2021, p. 373).

- Perry, P. (1981). High farming in Victorian Britain: prospect and retrospect. *Agricultural History*, 55(2), 156-166.
- Reid, D. (2019). *Égouts et égoutiers de Paris: réalités et représentations*. Paris: Presses universitaires de Rennes.
- Reitzel, K., Bennett, W. W., Berger, N., Brownlie, W. J., Bruun, S., Christensen, M. L., . . . Eigner, H. (2019). New training to meet the global phosphorus challenge. In: ACS Publications.
- Saito, K. (2022). The Legacy of Karl Marx's Ecosocialism in the Twenty-First Century. In *The Routledge Handbook on Ecosocialism* (pp. 135-143). London: Routledge.
- Saitō, K. (2021). *La nature contre le capital: l'écologie de Marx dans sa critique inachevée du capital*. Paris: Editions Syllepse.
- Steel, C. (2021). *Le ventre des villes. comment l'alimentation façonne nos vies*. Paris: Rue de l'Echiquier.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., . . . De Wit, C. A. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
- Valiorgue, b. (2020a). Le défi agricole de l'Anthropocène. Retrieved from <https://laviedesidees.fr/Le-defi-agricole-de-l-Anthropocene.html>
- Valiorgue, B. (2020b). *Refonder l'agriculture à l'heure de l'Anthropocène*. Lormont: Le Bord de l'Eau.
- Valiorgue, B. (2022). Quelle raison d'être pour la PAC à l'heure de l'Anthropocène? *Pour*, 243(2), 73-79.
- Valiorgue, B. (2023a). Agriculture. In N. Wallenhorst & C. Wulf (Eds.), *Handbook of the Anthropocene*. London: Springer.
- Valiorgue, B. (2023b). La durabilité agricole ou l'enjeu du siècle. In S. Abis (Ed.), *Le Demeter 2023*. Paris: IRIS éditions.
- Valiorgue, B., Labardin, P., & Bluntz, C. (2022). Réformer la comptabilité des exploitations agricoles pour relever le défi alimentaire de l'Anthropocène. *Systèmes alimentaires/Food systems*, 2021(6), 45-66.
- Von Liebig, J. J. (2013). *Lettres sur l'agriculture moderne*. Paris: Nabu Press.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., . . . Wood, A. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393, 447-492.
- Wisniak, J. (2002). Fritz Haber-A Conflicting Chemist. *Indian Journal of History of Science*, 37(2), 153-173.

Biographie

Bertrand Valiorgue est professeur de stratégie et gouvernance des entreprises au sein d'Emlyon business school. Il est le directeur de l'Institut Français de Gouvernement des Entreprises (IFGE). Ses travaux de recherche portent sur les enjeux de développement durable et de transition avec un focus particulier au niveau du secteur de l'agriculture et de l'alimentation. Il est l'auteur de l'ouvrage "Refonder l'agriculture à l'heure de l'Anthropocène" publié aux éditions Le bord de l'eau et d'articles académiques qui abordent les effets du changement climatique sur nos systèmes alimentaires.

Annexe 1 : Chaînes de valeur des fertilisants artificiels



Global fertilizer trade map

Produced by ICIS in partnership with IFA
For more information please visit www.icis.com/fertilizers



Map produced in January 2018



