AGENCE
D'URBANISME
CLERMONT
MASSIF CENTRAL

« Il règne une INSOUTENABLE illusion d'abondance. »

*Par **Christel Estragnat**, Chargée d'études Économie territoriale - 11.09.2026*

Entretien avec Philippe Bihouix [1], ingénieur et directeur général d'AREP

Les travaux de Philippe Bihouix, spécialiste des ressources minérales et promoteur des low-tech, soulignent l'ancrage de l'économie dans une réalité physique, faite de matières, d'énergie et d'infrastructures. Cet entretien [2] explore les limites matérielles de nos modèles économiques et la pertinence de démarches plus low-tech pour faire face aux risques de pénuries ou de ruptures d'approvisionnement et en anticiper les impacts. Il invite ainsi à considérer les capacités locales de production et les leviers d'actions territoriaux pour les maintenir malgré l'accentuation des contraintes et la récurrence des perturbations qui s'imposent à elles.

Vous qui avez longtemps promu la low-tech et posé le constat d'une « insoutenable abondance [3] », comment appréhendez-vous la croissance matérielle que nous vivons actuellement ?

Je dirais qu'il y a beaucoup de promesses et qu'il règne une illusion d'abondance. C'est une réalité pour le moment. Nous n'avons jamais eu autant de réserves et de ressources de matières premières, ni autant consommé d'énergie à l'échelle mondiale. Ce constat soulève deux questions. D'un côté, celle de l'impact environnemental grandissant. L'abondance n'est possible actuellement qu'à condition de violemment franchir les limites planétaires [4]. Les ressources minérales ne constituent pas une limite planétaire en tant que telles, car on peut toujours creuser plus profond, défricher de nouveaux endroits ou bien, demain, ratisser le fond des océans. Mais leur extraction se fait au prix d'une consommation d'énergie, d'émissions de CO2, de destruction de la biodiversité, de production de déchets miniers et de consommation d'eau tous plus importants. D'un autre côté, nous sommes rattrapés par la question de la pollution, par exemple par les polluants « éternels » (composés organofluorés), les microplastiques, le cadmium ou les résidus de pesticides, et les conséquences de leur accumulation dans l'environnement pourraient être plus rapides que les risques de tarissement des ressources. Avant de ne plus avoir de gaz naturel ou de fluorine [5], nous serons rattrapés par notre capacité à transformer ces produits en polluants éternels.

Le concept de low-tech lui-même a des limites car nous vivons dans un monde high-tech. Les usines sont dotées de machines à commandes numériques, de process automatisés, qui ont fondamentalement évolué à partir des années 1960 avec l'avènement de la cybernétique. Si l'on prend un exemple emblématique des low-tech, le vélo : il est facilement réparable, il n'utilise pas beaucoup de matières, consomme peu, et son prix est accessible. Mais pour le fabriquer, il a fallu de la high-tech partout, de la métallurgie de pointe, de l'usinage de précision pour la confection des pièces, des câbles de frein au dérailleur en passant par les roulements à bille, la vulcanisation du caoutchouc synthétique des pneus et des chambres à air, l'obtention des lubrifiants, etc. Idem pour un autre totem des low-tech : le four solaire. Pour le fabriquer, il faut des feuilles d'aluminium qui sont passées par des usines et des laminoirs tout à fait high-tech. Pour certains, la notion d'utilité est centrale dans la définition des low-tech : mais même l'utilité est subjective, c'est pourquoi je préfère parler de démarche low-tech.

En quoi consiste une démarche low-tech ?

La démarche low-tech, c'est tout d'abord se demander de quoi l'on a vraiment besoin, dans une logique de discernement technologique : sachant que toute activité, tout produit ou service a un impact environnemental, il faut mettre en regard l'utilité sociale, l'impact attendu, puis adopter une logique d'éco-conception la plus poussée possible, en intégrant par exemple des analyses du cycle de vie et l'empreinte carbone. Cette « définition » du low-tech permet de réfléchir à ce que pourrait être un hôpital low-tech, ou bien un train, une voiture, et même pourquoi pas

1 Diplômé de l'Ecole Centrale Paris, Philippe Bihouix s'impose comme une référence sur la question des ressources non renouvelables et des enjeux technologiques associés, ainsi que sur la démarche low-tech. Il a notamment publié L'Âge des low tech. Vers une civilisation techniquement soutenable (Seuil, 2014) et Ressources, un défi pour l'humanité (avec le dessinateur Vincent Perriot, Casterman, 2024)

2 Les propos de cet entretien ont été recueillis le 10 juillet 2026 par Christel Estragnat, chargée d'études en économie territoriale, et Ariane Boucher, stagiaire en économie.

3 Philippe Bihouix, L'Insoutenable Abondance. Faut-il croire les prophètes du progrès ? Tracts (n°68), Gallimard, 2025

4 Cf. Les limites planétaires ne sont pas négociables. Entretien avec Natacha Gondran

5 Forme minérale du fluorure de calcium, la fluorine est utilisée pour de nombreux procédés industriels, notamment dans la métallurgie, l'industrie des verres et de la céramique et la production de composés chimiques. L'Union européenne la considère comme faisant partie des substances d'importance économique sujettes à un risque élevé d'approvisionnement.

un avion low-tech. Dans la démarche low-tech, il y a un pan qui concerne ce que l'on fabrique, et un autre pan qui questionne la durée de vie de l'objet une fois fabriqué, et comment retarder le plus possible le moment où il sera jeté et plus ou moins mal recyclé. Cela passe par du réemploi, de la réutilisation, de la refabrication (ou remanufacturing) – qui consiste à réincorporer des pièces et des composants en bon état dans des produits neufs.

De cette manière, nous pourrions intégrer une logique de « désenrichissement technologique » réfléchie, à chaque fois que cela est possible, avec une dégradation de performance ou de praticité limitée, éviter la consommation et la dispersion des ressources les plus rares ou les plus difficilement recyclables, freiner les usages mortifères – même si la philosophie et l'histoire des techniques nous a maintes fois prouvé qu'on ne peut pas séparer les « bons » et les « mauvais » usages de la technologie [6].

On voit apparaître ici ou là des signaux faibles de l'émergence de nouveaux modèles comme des constructeurs automobiles qui récupèrent des calculateurs pour les réutiliser. Cela reste encore marginal et expérimental. Ces acteurs n'ont pas pour seul objectif de réduire l'impact environnemental de la fabrication de leurs pièces, mais cherchent à sécuriser et diversifier l'approvisionnement, après avoir connu des pénuries de micro-processeurs taïwanais en 2021-2022 qui ont bloqué les chaînes de fabrication. Pour les mêmes raisons, certains menuisiers se sont mis à travailler le bois de réemploi au moment où la pandémie Covid a perturbé et réduit la disponibilité des gisements forestiers.

Ces situations montrent bien que les enjeux dépassent largement la question écologique ; c'est une question économique et sociale, une question culturelle et sociétale (autonomie à l'échelle individuelle ou des communautés, fierté de la maîtrise des objets qui nous entourent…). En rendant les objets moins chers et plus robustes, plus résilients, on ouvre la porte à de nombreux co-bénéfices. Les collectivités peuvent aussi bénéficier de la démarche low-tech, par exemple en réduisant les coûts liés à la prise en charge et au traitement des déchets ou à l'assainissement (par exemple en désimperméabilisant les sols et en utilisant des solutions fondées sur la nature). Cela peut également avoir un impact économique sur le territoire en participant à la conservation de la valeur ajoutée localement.

Comment percevez-vous la confiance portée dans la technologie, notamment pour résoudre la crise écologique ?

C'est la grande promesse cornucopienne [7] d'atteindre une plus grande efficacité grâce au progrès technique. Mais c'est sans compter l'effet rebond par lequel nos besoins et nos usages augmentent plus rapidement que les gains d'efficacité. Malgré des progrès phénoménaux dans tous les domaines, consommation d'énergie optimisée dans les transports, miniaturisation des objets électroniques, etc. nous sommes, plus que jamais, dans une logique extractiviste : on extrait toujours plus de ressources chaque année. L'avènement d'une économie plus circulaire ou de biens et de services consommant moins d'énergie et de ressources est porteur d'espoir, mais ne sera pas à la hauteur attendue. Je ne vois pas non plus de grands sursauts qui pourraient mener à ce que notre histoire s'écrive différemment dans les 10 à 20 ans qui viennent, malgré les promesses fantasmagoriques des prophètes de l'intelligence artificielle. Les cas d'usage où l'IA permettrait de soulager l'empreinte matérielle de l'humanité restent à ce stade bien incertains. Pour l'instant, elle permet certes d'optimiser les trajets sur Google Maps ; mais on est loin des armées de nanorobots s'autorépliquant et nettoyant les océans (tout en ne polluant pas eux-mêmes…).

Par ailleurs, plus les objets sont high-tech, plus on s'éloigne de l'économie circulaire vue sous le prisme des ressources. L'électronique est moins réparable que les objets mécaniques. L'enrichissement des objets en électronique, la digitalisation de nos vies, nécessitent d'extraire de plus en plus de ressources, souvent plus rares, et avec des niveaux de pureté plus élevés – ce qui implique des traitements industriels plus nombreux et un impact environnemental plus fort. La complexification et la miniaturisation des objets augmentent l'usage dispersif des ressources et entraînent l'incapacité technico-économique à recycler. Pour la moitié des métaux (une trentaine), le taux de recyclage mondial est aujourd'hui inférieur à 1%.

Au regard de cet effet rebond, de quelle manière nos besoins en matière et en énergie se heurtent-ils aujourd'hui à la finitude des ressources ?

J'essaye de prendre du recul sur les risques de pénurie, par exemple sur le cuivre ou le nickel [8] à horizon 2035.

6 Cf. par exemple les analyses de Jacques Ellul. La technique n'est jamais neutre, elle est ambivalente, à la fois positive et négative.
7 Terme issu du latin « cornu copiae », la corne d'abondance, désignant la conviction d'une trajectoire vers un monde d'abondance grâce au progrès technique.
8 Ces deux métaux sont soumis à une augmentation de la demande dans le cadre de la transition énergétique. Le cuivre sert aux câbles, moteurs et réseaux électriques tandis que le nickel est utilisé pour protéger l'acier de la corrosion et dans les batteries électriques. Or leur exploitation se complexifie et demande de lourds investissements.

Seules une petite partie des ressources ont été extraites et le « stock disponible » ne va pas s'épuiser à l'échelle de quelques décennies. En revanche, le coût énergétique et environnemental de l'extraction s'accentue car les ressources sont désormais moins accessibles ou les gisements de plus faible teneur. Les alertes émises autour des pénuries sont un mélange de bonne foi et de questionnement sur la capacité à mener la transition énergétique, mais aussi d'intérêts industriels, qui incitent à la « relance minière », à simplifier les autorisations administratives, à ouvrir de nouvelles mines un peu partout [9].

La transition énergétique nous oriente vers de nouvelles technologies, vers plus d'électrification dans les véhicules et les procédés industriels et sans doute vers une utilisation plus importante du vecteur hydrogène, qui nécessitent certains métaux spécifiques (manganèse, cobalt, nickel pour les batteries, platine pour l'hydrogène, néodyme et dysprosium pour les éoliennes, argent pour les panneaux solaires photovoltaïques, etc.). De nombreux travaux documentent les pressions que le numérique et les énergies renouvelables exercent et exerceront (selon les technologies effectivement déployées) sur les ressources. A noter que les métaux sont rarement utilisés pour une seule technologie ou un secteur spécifique.

Certaines ressources ou certains flux de matières sont-ils néanmoins plus impactés ?

Le tantale, utilisé dans les micro-condensateurs sur les cartes électroniques, est un métal emblématique des nouvelles technologies. Il est également utilisé dans les superalliages, pour l'aéronautique, l'aérospatial et la défense. Son extraction en République Démocratique du Congo (40% de la production mondiale) suscite des questions géopolitiques et de droits humains.

Le nickel est le métal emblématique des batteries de haute qualité utilisées pour les voitures. L'extraction de nickel au niveau mondial a triplé ces 20 dernières années (de 1 à 3 millions de tonnes). Si les batteries sont mises en avant dans l'augmentation des besoins futurs, la croissance historique, impressionnante, s'explique avant tout par les besoins en aciers inoxydables, pour le développement des villes, des usines agroalimentaires et chimiques.

Le lithium est une exception. Il y a aussi des usages historiques, mais l'incroyable performance obtenue à partir des batteries au lithium fait exploser les besoins quels que soient les scénarios de transition, et le lithium issu du recyclage ne pourra en aucun cas suffire à couvrir les besoins. La pression est grande pour exploiter des ressources locales, qui pourraient couvrir une part substantielle des besoins. Mais il est bien dommage que le projet d'ouverture de mine dans l'Allier ne soit pas articulé, par les pouvoirs publics, à une véritable réflexion sur la décarbonation des transports en France. A qui le lithium sera-t-il vendu ? Où sera-t-il raffiné ? Dans quels types de véhicules, de quels poids, de quelles puissances, sera-t-il incorporé ?

Enfin, la nécessité du cuivre pour l'électrification des usages est indéniable, notamment pour le développement de la voiture électrique. Le cuivre connaît actuellement une augmentation des besoins continue de 2 à 3 % par an depuis 50 ans du fait de l'urbanisation et de l'industrialisation du monde.

En quoi la problématique de la matérialité de l'économie est-elle plus prégnante aujourd'hui ?

On va extraire dans les 25 à 30 prochaines années autant de matériaux que depuis le début de l'humanité. Les besoins sont tirés, avant tout, par l'urbanisation et la motorisation du monde, ensuite seulement par la numérisation et la transition énergétique. Les ressources qui ont été extraites étaient les plus riches et les plus simples, c'est-à-dire les plus concentrées et les plus accessibles. Il faut désormais aller les chercher plus profondément ou dans des endroits de plus en plus complexes ou fragiles, comme les zones polaires, les déserts, les forêts tropicales… par son essence même, le potentiel destructeur de l'extraction minière sur les espaces naturels, sur la biodiversité, est phénoménal.

Pour donner un ordre de grandeur : depuis peu, la quantité de minerai de cuivre extraite chaque année a dépassé la quantité de minerai de fer extraite chaque année. Le fer est bien plus utilisé que le cuivre, mais il est aussi bien plus concentré dans l'écorce terrestre que le cuivre, ce qui signifie que l'extraction du cuivre génère plus de déchets miniers. On a atteint les 2,9 milliards de tonnes de minerai de cuivre (qui donnent 20 millions de tonnes de métal et le reste de résidus miniers), pour 2,5 milliards de tonnes de minerai de fer (qui donneront un peu plus d'un milliard de tonnes d'acier). Ces activités d'extraction utilisent du pétrole pour les camions et les excavatrices, des produits chimiques pour le traitement des minerais, impliquent la construction d'infrastructures, génèrent des quantités phénoménales de déchets qui sont stockés sur place ou déversés dans les rivières… Les ressources minérales, en tant que telles, ne sont pas listées comme une « limite planétaire » [10], mais leur extraction contribue très significativement à franchir les limites planétaires. La dépendance aux énergies fossiles du secteur pose aussi une énorme question à terme.

9 Certains acteurs miniers mobilisent l'argument de la pénurie, des besoins de la transition énergétique et d'une meilleure maîtrise des normes environnementales et sociales localement pour appuyer l'autorisation de nouveaux projets d'extraction sur le territoire. Ces projets contribuent à la croissance de l'extraction sans nécessairement en limiter l'impact environnemental car ils ne se substituent pas à l'extraction existante. L'utilisation des métaux extraits n'est d'ailleurs pas limitée aux secteurs de la transition bas carbone. Une approche fondée sur la sobriété et l'allongement de la durée de vie des objets apparaît alors préférable, et a minima complémentaire, à une stratégie de relocalisation optimisée de l'extraction.

10 Cf. travaux du Stockholm Resilience Centre sur les 9 limites planétaires dont 7 franchies . Limites planétaires – une mise à jour scientifique par le professeur Johan Rockström, Stockholm Resilience Centre, 2026, https://www.youtube.com/watch?v=dhWXmq1XQa4

Selon vous, quelles seraient les solutions pour répondre aux limites matérielles et écologiques des modèles économiques actuels ?

Le stock de « capacité réservée » par les différents opérateurs de datacenters, c'est-à-dire les demandes de raccordement qui ont été faites auprès du gestionnaire de réseau électrique RTE, atteint une puissance de 15 GW, soit un quart de la puissance nucléaire française [11] ! Cette puissance électrique permettrait, en ordre de grandeur, de climatiser la France entière. Peut-être pas en heure de pointe, au moment de canicules sur tout le pays (il faudrait alors peut-être 30 à 40 GW de puissance supplémentaire), mais, en assurant des roulements, en faisant fonctionner les climatisations à des heures différentes, la distribution de fraîcheur serait significative.

C'est donc une question de priorité sur l'allocation des ressources énergétiques et des moyens organisationnels et financiers. Préfère-t-on demander à l'IA de nous dresser la liste de courses pour cuisiner une pizza 4 fromages ou consacrer ces ressources aux sujets d'adaptation et d'atténuation du changement climatique ? Autre exemple, le CERN [12] propose un projet de nouvel accélérateur de particules, qui consommerait en énergie l'équivalent d'une ville comme Nantes ou Strasbourg. Certes, c'est très enthousiasmant de découvrir de nouvelles propriétés du boson de Higgs, mais est-ce une priorité au regard des enjeux actuels ?

Comment cela se traduit-il à l'échelle des entreprises ?

Au niveau de l'entreprise, il faudrait commencer par comprendre ses dépendances et les risques auxquels elle s'expose. Des signaux faibles montrent que les positions évoluent. Les entreprises sont désormais sensibilisées à la dépendance au numérique au travers de la question des GAFAM [13], du stockage et de l'accès aux données. La dépendance matérielle doit être réfléchie en amont en identifiant de quels flux dépendent les entreprises. Ces questionnements peuvent ouvrir la voie vers de nouvelles stratégies et des modèles économiques alternatifs. Tout ne peut pas changer d'un coup, mais l'idée est de commencer à expérimenter, diversifier et surtout arbitrer entre performance à court terme et robustesse à moyen terme, pour reprendre la métaphore sur le fonctionnement du vivant d'Olivier Hamant. Sans doute faut-il accepter désormais d'optimiser un peu moins, de payer un peu plus cher, pour s'assurer d'une meilleure maîtrise sur la chaîne d'approvisionnement.

C'est aussi une question de renoncement. Les entreprises doivent questionner l'impératif de croissance. On commence à voir des changements de modèle dans tous les secteurs. L'utilisation de produits biosourcés et géosourcés, le réemploi et la réutilisation de matériaux, gagnent par exemple du terrain dans le secteur du bâtiment. Si cela demande plus de main-d'œuvre (déconstruction précautionneuse, remise en état, stockage…), on peut aussi voir cette démarche comme avantageuse du point de vue de la valeur ajoutée conservée localement et de l'impact territorial positif. Les maîtres d'ouvrage, publics comme privés, peuvent faire le choix de solutions techniques plus simples, plus pérennes, moins dépendantes de ressources et de maintenance complexe, comme la ventilation naturelle. Globalement, tout acteur travaille dans un écosystème avec des fournisseurs et des clients. Il faut essayer d'aller chercher des synergies et des envies communes, et trouver des complices chez ces partenaires avec qui l'on travaille déjà.

Et quel rôle donnez-vous aux territoires face aux enjeux de ressources ?

L'échelle territoriale est plus adaptée pour se mettre ensemble que l'échelle de l'entreprise. Par exemple, l'initiative de consigner et réemployer les emballages en verre ne peut fonctionner qu'à l'échelle territoriale. Son succès dépend de l'atteinte d'une masse critique d'acteurs locaux, pour partager des standards de bouteilles et de contenants, de logisticiens, de magasins locaux, et de consommateurs prenant l'habitude de rapporter les contenants. C'est pour cela que l'échelle territoriale est intéressante.

Mais beaucoup de relations et de flux indirects dépassent le territoire, notamment à travers les machines. On est dépendants de logiciels ou d'équipements, de composants, de sous-systèmes. Il est intéressant de disposer d'une économie de la réparation à l'échelle territoriale, de faire monter en compétence plus de gens, pour avoir les capacités sur le territoire d'avoir des gens qui « bidouillent » le jour où les circuits d'approvisionnement seraient coupés ou perturbés. Un peu comme le masque de plongée Décathlon pendant le Covid [14] qui a permis de « bricoler » des respirateurs. On développe des compétences, des capacités de transformation. La refabrication et la réparation peuvent assurer un flux d'emplois et de formations. L'échelle territoriale est une bonne échelle pour l'implantation de recycleries / ressourceries et de repair cafés, la mise en place de formations…

11 Assemblée Nationale, Commission d'enquête sur les dépendances structurelles et les vulnérabilités systémiques dans le secteur du numérique et les risques pour l'indépendance de la France, Rapport n°3054, p328.
12 Conseil européen pour la recherche nucléaire, plus grand laboratoire de physique des particules implanté près de Genève
13 Acronyme des cinq plus grandes entreprises du numérique : Google, Appel, Facebook, Amazon et Microsoft.
14 Masques Décathlon lors de la pandémie

Quelles sont les principales vulnérabilités des territoires en termes de dépendance aux ressources ?

Historiquement, pour résister à la concurrence, les entreprises disposaient de deux solutions : jouer sur l'effet de taille et gagner en productivité, pour produire plus avec moins d'employés, ce qui correspond à faire baisser les prix dans une stratégie industrielle de regroupement, ou spécialiser sa production. Mais une trop grande spécialisation peut aussi devenir un facteur de vulnérabilité et de surexposition aux crises. Les entreprises spécialisées peuvent rencontrer des problèmes sur le marché final et la concentration par cluster rend vulnérable en termes d'approvisionnement.

A l'avenir, les entreprises seront soumises à de plus en plus d'aléas. Les coûts de transport ne vont pas baisser. La compétition restera vive, même si on peut espérer qu'elle s'opérera de plus en plus sur des critères alignés, grâce à l'application de mesures visant à réduire l'écart de normes environnementales et sociales, comme le Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières (MACF).

C'est pourquoi il est important de retrouver des échelles territoriales et diversifiées. Pas pour tout. On ne va pas recommencer à faire du paracétamol partout. Mais le modèle de la micro-brasserie locale, qui demande peu d'ingrédients et de technicité, pourrait être étendu à d'autres types de production. A terme, les pharmaciens pourraient par exemple redevenir des préparateurs locaux de cosmétiques à base de produits simples et naturels.

68 Ter, Avenue Edouard Michelin
63100 Clermont-Ferrand

04 73 17 48 00
www.aucm.fr

Document réalisé par l'Agence d'urbanisme Clermont Massif central - Revue Lignes de crêtes
Directeur de la publication : Stéphane CORDOBES