

LE MEILLEUR EST-IL À VENIR ?

1 MAGAZINE + UN PORTAIL WEB POUR PARTAGER LES SAVOIRS
popsciences.universite-lyon.fr/le_mag

SANTÉ

Médecine de demain :
réparer ou augmenter ?

ALIMENTATION

L'innovation peut-elle réconcilier
les Français avec leur agriculture ?

CLIMAT

Réchauffement climatique :
ce que nous disent
les climats anciens

ESPACE

Conquête spatiale - saison 2

SOCIÉTÉ

Demain, quelle sera
la place du travail ?

ÉDITO

LE MEILLEUR EST-IL À VENIR ?

C'était mieux avant ! Le refrain du mythe de l'Âge d'or revient régulièrement lorsque, face aux grands défis sociétaux du présent, nous en revenons au passé et réglons nos comptes sur son dos. Les échos d'un certain déclinisme ambiant retentissent alors : *avant nous étions une Nation puissante ! Lorsqu'il s'agissait de poser un pied sur la Lune, avant on y arrivait ! Avant nous n'étions pas perdus dans des univers numérisés !*

Révélee en juillet 2016, une étude de la Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques précise que 46 % des français interrogés considèrent leur situation globalement moins bonne que celle de leurs parents. Cette vision d'une société en déclin économique et culturel se cristallise dans certains discours politiques ou médiatiques. C'est avec verve et générosité que le philosophe des sciences, Michel Serres, s'est plongé dans la problématique du *C'était mieux avant !* Dans son ouvrage éponyme, il tord le cou aux relents passésistes des "grands papas ronchons (qui) créent une atmosphère de mélancolie sur les temps d'aujourd'hui." Ça tombe bien, avant, Michel Serres y était ! Du haut de ses 87 ans, il rappelle qu'au début du XX^e siècle "les pauvres mouraient sans soin, qu'avant sans contrainte, les usines répandaient leurs déchets dans l'atmosphère ou la mer" et que l'hygiène était déplorable. Qu'avant signifie aussi tuberculose, famines... Hiroshima.

Pop'Sciences Mag se prête au jeu de savoir comment les sciences appréhendent le monde qui vient.

Pour ce nouveau numéro, Pop'Sciences ne donne ni dans la mélancolie, ni dans l'euphorie insouciance du progrès scientifique absolu. Nous proposons un regard sur les avancées techniques, socio-économiques et sanitaires qui forgent le monde contemporain et préparent celui qui vient. Nous donnons à voir comment nos chercheurs contribuent à produire de nouvelles connaissances pour répondre aux défis climatiques ou encore démographiques du XXI^e siècle. Ces enjeux qui nous imposent de repenser nos modes de production, de consommation et d'innovation.

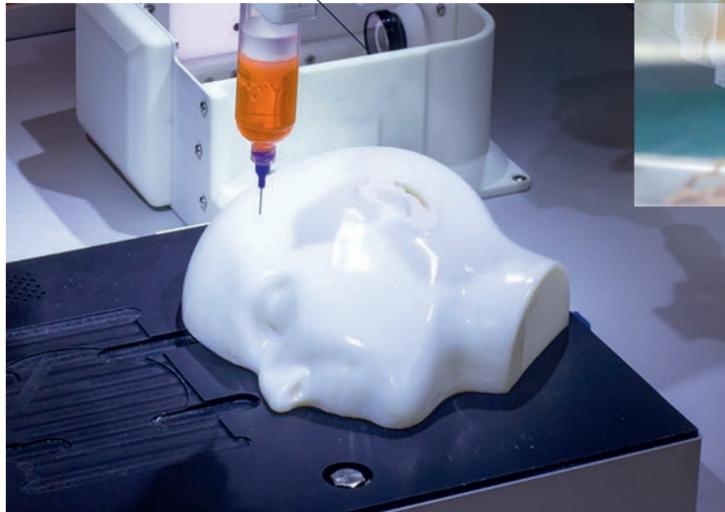
Au plus près de la recherche scientifique, vous évalueriez l'intérêt et la portée des progrès en médecine d'augmentation. Vous analyserez également les courants sociologiques et économiques qui repensent la place du travail dans nos vies futures. Notre rédaction s'est aussi intéressée aux chercheurs qui tentent de définir un modèle agricole durable, répondant au défi de devoir nourrir 10 milliards de bouches d'ici 2100. Vous identifierez les conséquences à venir du changement climatique en cours, et enfin vous vous interrogerez : a-t-on raison de vouloir aller sur Mars ?

Ce magazine vous invite à prendre position ! Était-ce mieux vraiment avant, ou le meilleur est-il à venir ?

04

SANTÉ

MÉDECINE DE DEMAIN :
RÉPARER OU AUGMENTER ?



12
ALIMENTATION

L'INNOVATION PEUT-ELLE
RÉCONCILIER LES FRANÇAIS
AVEC LEUR AGRICULTURE ?



20
CLIMAT

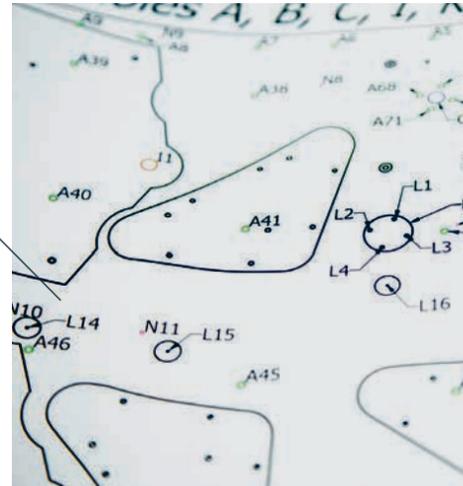
RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE :
CE QUE NOUS DISENT
LES CLIMATS ANCIENS



28

ESPACE

CONQUÊTE SPATIALE
→ SAISON 2



36
SOCIÉTÉ

DEMAIN, QUELLE SERA
LA PLACE DU TRAVAIL ?



POP'SCIENCES
MAG #4 - MAI 19

LE MEILLEUR EST-IL À VENIR ?

1 MAGAZINE + UN PORTAIL WEB POUR PARTAGER LES SAVOIRS
popsciences.universite-lyon.fr/le_mag



Des articles
À LIRE

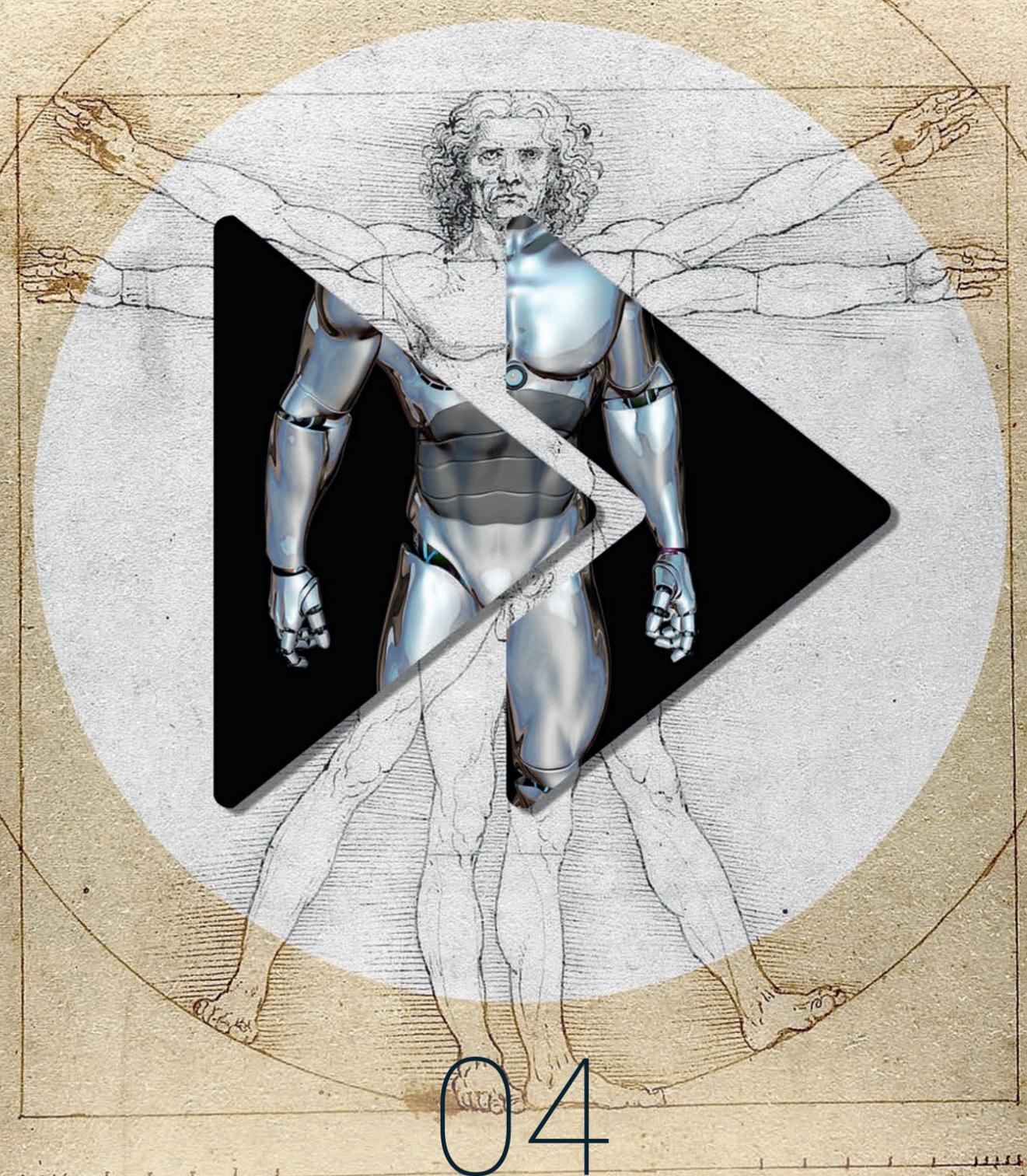


Des reportages
À REGARDER



Des interviews
À ÉCOUTER

Handwritten text in a cursive script, likely a historical medical or philosophical treatise, located at the top of the page.



04

SANTÉ

Handwritten text in a cursive script, likely a historical medical or philosophical treatise, located at the bottom of the page.

MÉDECINE DE DEMAIN :

Par Ludovic Viévard
Photographies : © Visée.A

MIEUX RÉPARER OU AUGMENTER ?

La médecine de spécialité a fait des avancées considérables, l'espérance de vie a augmenté et la santé moyenne mondiale progresse. L'imaginaire dominant la science médicale est toujours celui qui, faisant sienne l'idée de progrès, s'est formé au XIX^e siècle. Celui d'une médecine technologique qui vise la fin des maladies, voire de la mort, capable non seulement de réparer les corps, mais de les améliorer.

Les barrières tombent, les frontières se brouillent. On peut désormais "imprimer" de la peau biologique, se renforcer d'un exosquelette, interfacer l'homme et la machine, etc. Tout ceci devient possible, mais est-ce souhaitable ? En tout cas, alertent certains récits, pas sans vigilance ni réflexion collective sur les conséquences de cet hubris technologique.

En 2008, une étrange affaire occupe le Tribunal arbitral du sport (TAS). L'année précédente, l'athlète Oscar Pistorius, né sans tibias, demandait à l'International

association of athletics federations (IAAF) l'autorisation de sortir de la catégorie handisport pour se présenter dans les compétitions de son choix. Mais une étude conclut que ses prothèses de course en forme de lames lui procurent un gain d'effort et donc un avantage sur ses concurrents non amputés. N'étant pas autorisé par l'IAAF à concourir, Oscar Pistorius fait appel de la décision devant le TAS qui, faute de preuves concluantes, l'autorise à s'inscrire dans les compétitions qu'il souhaite. Cette affaire illustre combien s'est brouillée la frontière entre réparation et augmentation. ❶

» Si les prothèses d'Oscar Pistorius sont une première forme de "mécanisation" de l'Homme, nous sommes encore loin de sa transformation en cyborg. Et pourtant, cette frontière aussi semble tomber. Jérémie Mattout, responsable d'un programme de recherche (voir encadré page suivante) au sein de l'équipe Dynamique cérébrale et cognition (Dycog), du Centre de recherche en neurosciences de Lyon (CRNL)¹, détaille les deux possibilités existantes pour contrôler une machine grâce au cerveau humain. "La première, non invasive, consiste à utiliser des capteurs disposés sur le cuir chevelu de la personne. On mesure l'activité cérébrale à la surface du crâne et on crée la possibilité d'un feedback grâce à une interface. C'est une méthode simple, bien éprouvée, mais peu précise. La seconde, lourde, invasive et avec des risques opératoires, consiste à implanter directement des électrodes dans le cerveau. Mais les résultats peuvent être spectaculaires !"

Interfacer l'Homme et la machine

À Grenoble, à Clineat, le projet *Brain computer interface*² utilise des capteurs placés à l'intérieur de la boîte crânienne pour permettre à une personne de commander un dispositif mécanique complexe, comme un exosquelette. Les tests cliniques, en cours depuis 2015 avec des personnes tétraplégiques, témoignent de l'avancée de ces premières formes d'hybridation biomécanique. Dans la Silicon Valley, chez Google, Facebook ou Neuralink, on s'emploie activement à repousser cette "nouvelle frontière" de la science, sans qu'on sache toujours bien quelles sont les finalités de cette révolution de nos interactions avec l'environnement. Qu'importe ! "Ces grandes



"Ce n'est pas parce qu'on truffe le cerveau de capteurs qu'on sait en extraire une information spécifique et précise."

Jérémie Mattout

Équipe Dynamique cérébrale et cognition -Dycog
du Centre de recherche en neurosciences
de Lyon - CRNL.

entreprises qui ont une force de frappe considérable bousculent la recherche, prévient Jérémie Mattout. Pour autant, il reste un vrai verrou à lever : notre connaissance du fonctionnement cérébral. Car ce n'est pas parce qu'on truffe le cerveau de capteurs qu'on sait en extraire une information spécifique et précise."

Artificialiser le naturel ou naturaliser l'artificiel

L'incertitude qui touche la frontière entre humain et non humain touche aussi celle qui sépare le naturel de l'artificiel. À Lyon, la plateforme 3d.FAB³ contribue à faire bouger ces lignes en imprimant de la peau humaine, à la fois pleinement artificielle - issue d'une imprimante 3D - et ne peut plus naturelle, comme le certifie son génome !



À REGARDER -> P. 08

Impressions 3D, 4D et bio-impressions : de nouvelles perspectives pour la santé

"Aujourd'hui, grâce à l'impression 3D, on sait recréer le derme, l'épiderme et l'hypoderme, explique Christophe Marquette, directeur adjoint de l'Institut de chimie et de biochimie moléculaires et supramoléculaires (ICBMS)⁴. Ce qu'on développe, c'est une technique destinée aux grands brûlés. Le principe est de réaliser une biopsie pour prélever les cellules de peau de la personne, de les ajouter à une « encre » hyper nutritive puis de les imprimer directement sur son corps, au bloc opératoire, grâce à un bras robotisé." L'amélioration serait patente par rapport à une autogreffe où seul le derme est implanté. Une prochaine étape pour la recherche pourrait être l'impression de tubes avec une encre contenant des cellules de veines. Amenés à maturité *in vitro*, ces tubes seraient ensuite réimplantés dans le patient. "À part la peau, il n'y a pas d'organes sans « tuyau ». Donc, pour aller plus loin, il faut lever cette étape et recréer une arrivée et une sortie." À l'inverse, une forme de naturalisation de l'artificiel est également possible, avec l'impression d'objets (comme du cartilage) qui, une fois implantés, seront colonisés par les cellules du patient. ❶

1 > Inserm, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, Université Jean Monnet Saint-Étienne, Université de Lyon.

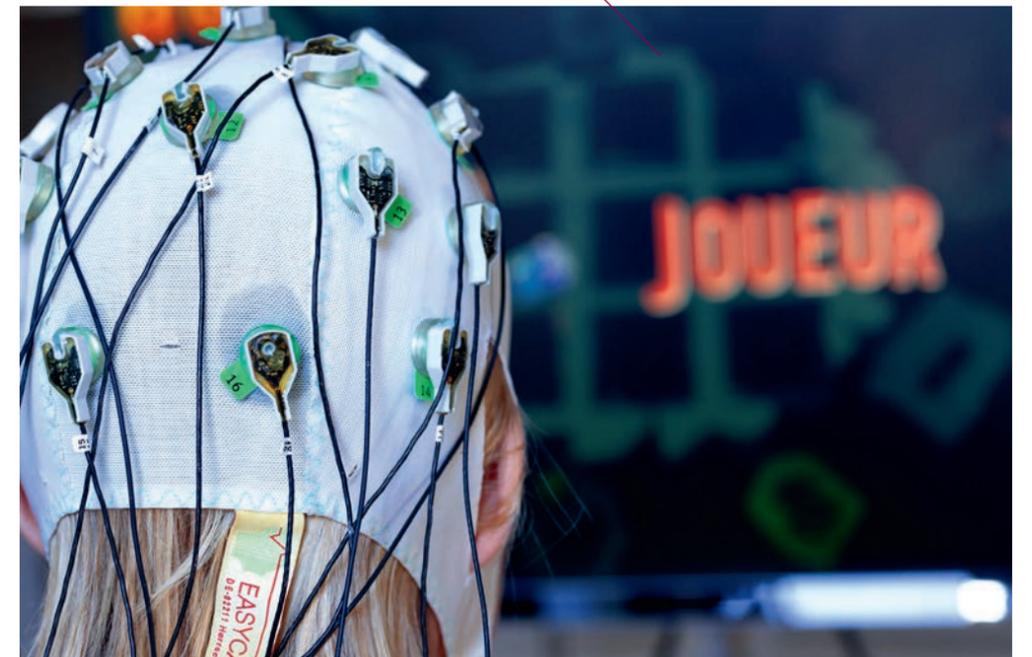
2 > CEA, CHU de Grenoble, Inserm et Université Grenoble Alpes.

3 > Laboratoire Mateis de l'INSA Lyon, l'Institut de chimie et de biochimie moléculaires et supramoléculaires - ICBMS, Lyon - CNRS et le Laboratoire de chimie de l'ENS de Lyon.

4 > Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, CPE Lyon, INSA Lyon.

LE JEU COMME INTERFACE CERVEAU / MACHINE

Lutter contre les troubles de l'attention de l'enfant est l'un des objectifs de l'équipe Dynamique cérébrale et cognition (Dycog) du Centre de recherche en neurosciences de Lyon (CRNL). "Le bonnet couvert de capteurs, explique Jérémie Mattout, responsable de ces recherches, est un électroencéphalogramme (EEG) qui mesure l'activité cérébrale de l'enfant, en temps-réel. Il extrait une onde bien spécifique, appelée P300, qui est un marqueur de l'attention." À partir de l'activité cérébrale de l'enfant, un algorithme détermine son degré de concentration et lui restitue cette information sous la forme de victoires ou de défaites, par l'intermédiaire de jeux spécifiques, développés par la société BlackSheep Studio. "L'enfant, qui est invité à jouer sur un écran d'ordinateur, est conscient en temps réel de ses performances, bonnes ou mauvaises, indique Mélodie Fouillen, doctorante au sein de l'équipe. C'est le principe du neurofeedback. Grâce à cela, il peut mettre en place une stratégie qui l'aide à réduire son attention." Car pour gagner, "l'enfant doit réussir à produire une onde P300 en réponse à la stimulation de son choix", précise Jérémie Mattout. Cette expérience d'interaction cerveau / machine utilise le jeu comme moyen de rééducation. Elle montre, plus largement, et au-delà des applications thérapeutiques, comment en se concentrant, une personne peut "contrôler" un dispositif technique "par la pensée".

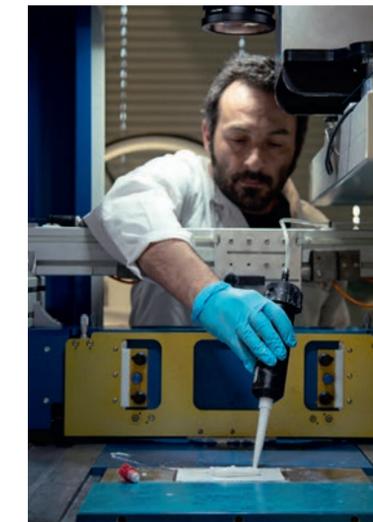


Installée sur le campus LyonTech-la Doua, 3d.FAB est une plateforme spécialisée dans les procédés d'impression en trois dimensions (3D), une technologie qui révolutionne le champ de la santé. Les avantages ? Produire des objets fermés, creux et/ou imbriqués, qu'il était jusque-là impossible d'obtenir par moulage, mais aussi imprimer de la matière organique.

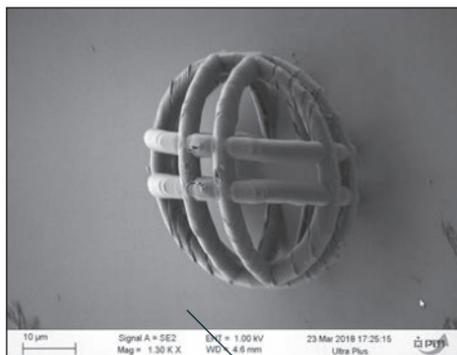
Il existe deux possibilités, combinables, pour imprimer un objet en 3D. La première utilise un dépôt successif de couches de matière. La seconde, dite photochimique, se sert de la lumière pour solidifier la matière là où c'est nécessaire. 3d.FAB développe ces technologies pour trois types de matériaux : les classiques, durs ou souples, comme les silicones ou les céramiques ; les matériaux imprimés en 4D, qui incluent des composants actifs, par exemple une enzyme ; et, enfin, de la bio-impression de tissus vivants, contenant des cellules.



Cette imprimante est composée d'un bras articulé qui lui donne la possibilité de se déployer pour saisir un outil ou imprimer sur des volumes. Son amplitude lui permet de sortir de la machine pour imprimer directement *in vivo*, sur un corps d'une personne. Ce projet est développé pour l'impression de peau sur le corps des grands brûlés. Dès leur arrivée à l'hôpital, leurs cellules de peau seraient prélevées par biopsie, puis placées dans une cartouche d'encre hyper nutritive et, moins d'une heure après, les trois couches de la peau seraient imprimées sur leur corps, dans le bloc opératoire.



Les techniques hybrides utilisent à la fois le dépôt de matière et la photochimie. Il est possible de les utiliser pour produire des céramiques à partir d'une pâte molle similaire à du dentifrice. Des endroits précis de chaque couche déposée sont insolés par un laser afin de polymériser le produit fini qui se dégage progressivement de la matière molle. Une fois séché et brûlé à 1 200 C°, l'objet devient extrêmement dur et peut être implanté, par exemple, pour réaliser une prothèse.



L'impression 3D permet de façonner des objets complexes. La lumière ultra-violetle ayant une longueur d'onde très basse, les techniques photochimiques permettent une grande précision, de l'ordre de 200 nanomètres. Il est ainsi possible de fabriquer des objets injectables dans le corps et pouvant embarquer des cellules. C'est ce qu'on appelle l'impression 4D. L'objet est imprimé en 3D et il lui est ajoutée une fonction biologique (enzyme, facteurs de croissance, etc.).



Les équipements disponibles au 3d.FAB permettent d'imprimer grâce aux trois techniques. Ici, la machine utilise le principe du dépôt de matières. Certaines, comme le silicone, sont fluides et s'écoulent ce qui crée un risque d'affaissement des pièces imprimées. Les équipes de 3d.FAB travaillent donc à stabiliser cette matière, soit à partir d'additifs, soit en faisant varier la température ou encore en combinant la technique du dépôt avec la photochimie.



“Si on acceptait de modifier la forme de notre corps, les possibles seraient bien plus grands pour remplacer non pas l'organe mais la fonction de l'organe.”

Christophe Marquette

Directeur adjoint de l'Institut de chimie et de biochimie moléculaires et supramoléculaires (ICBMS)



L'impression à partir des données du patient permet de développer une médecine personnalisée comme dans le cas de ce projet développé avec l'hôpital Femme Mère Enfant. 3d.FAB imprime la cage thoracique et les poumons en reproduisant l'anatomie de l'enfant qui doit être opéré. Ce modèle réalisé à l'identique pourra servir au chirurgien à s'entraîner et à définir la meilleure stratégie opératoire.

› Un renouveau des questions éthiques

Réparation et augmentation, Homme et machine, naturel et artificiel... Les oppositions traditionnelles qui ont structuré nos représentations demandent à être revues. Jérôme Goffette, chercheur au laboratoire Environnement Ville Société (EVS)¹, a par exemple suggéré de "forger un couple de concepts bien différent, celui de l'ordinaire et du modifié."²

Allant du pathologique à l'ordinaire pour le champ médical, et de l'ordinaire au modifié pour celui de l'anthropotechnie, ces frontières mouvantes nous obligent aussi à questionner les évidences d'hier. Christophe Marquette s'interroge par exemple sur la puissance de l'imaginaire anthropomorphique : "Aujourd'hui, parce qu'on se reconnaît individuellement et collectivement dans la forme humaine, on cherche à faire tenir un organe artificiel, le cœur, le rein, etc., à la place de l'organe naturel. Mais si on acceptait de modifier la forme de notre corps, les possibles seraient bien plus grands pour remplacer non pas l'organe mais la fonction de l'organe." Le chercheur dit aussi se questionner sur l'impact de ses travaux sur nos comportements : "S'il devient possible de remplacer son foie, par exemple, est-ce que les gens entendront de la même façon les messages de prévention contre l'alcool ? La notion même de prudence n'est-elle pas affectée par ces nouvelles techniques ?"

Voyage dans la fiction

Ces questions éthiques et sociétales font certes l'objet d'un cadrage législatif. Mais bien souvent, celui-ci s'élabore au fur et à mesure qu'elles se posent alors que,

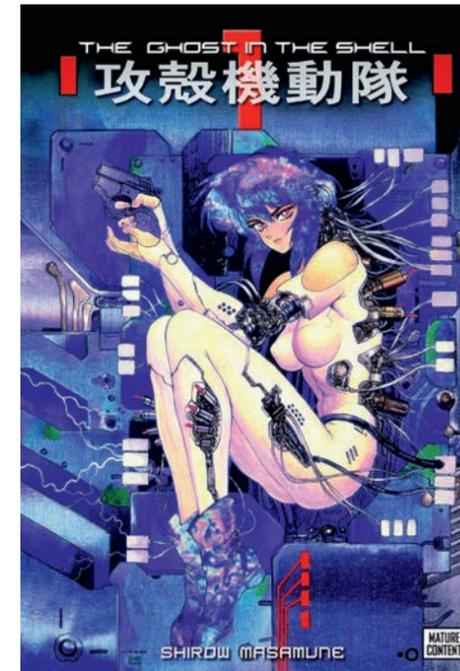


"La science-fiction est un moyen de tester des hypothèses et des futurs possibles."

Marianne Chouteau

Enseignante-chercheuse au Laboratoire Sciences, société, historicité, éducation et pratiques - S2HEP

prévoit Marianne Chouteau, enseignante-chercheuse au laboratoire Sciences, société, historicité, éducation et pratiques (S2HEP)³, "Il est indispensable de les anticiper dès la conception des techniques. Former des étudiants à penser la technique est nécessaire, de même qu'il est important que la société toute entière se saisisse de ces questions." La chercheuse explore le rôle de la fiction d'anticipation dans cette entreprise de réflexion collective. Par exemple, un film comme *Never Let Me Go* (voir encadré) va permettre au public de se questionner sur le statut de clones humains. "La science-fiction est un moyen de tester des hypothèses et des futurs possibles, précise Marianne Chouteau. Les dystopies nous alertent sur des avers repoussoirs, auxquels on cherchera à échapper, tandis que d'autres œuvres plus positives pourront au contraire dessiner des avers désirables. Mais si la science-fiction a bien cette fonction de questionnement collectif, elle doit encore nous placer dans l'action et pas dans une sidération fataliste d'un avenir qui se rapproche à pleine vitesse !"



ANTICIPER LES QUESTIONS ÉTHIQUES GRÂCE AU RÉCIT

Never Let Me Go, film réalisé en 2010 par Mark Romanek, raconte l'histoire de jeunes clones qui apprennent que la finalité de leur existence est de constituer une réserve d'organes pour ceux dont ils sont les copies. Dans *Repo Man* (2010) de Miguel Sapochnik, Jude Law et Forest Whitaker incarnent des repreneurs d'organes artificiels brutalement récupérés dans le corps de ceux qui ne peuvent plus payer leurs implants, qu'il s'agisse d'un œil comme d'un cœur ! En 1997, Andrew Niccol explorait, dans *Bienvenue à Gattaca*, l'idée d'une médecine prédictive qui permet d'affecter chaque personne à une fonction sociale selon les prédispositions lues dans son génome. Depuis le *Protagoras* de Platon - qui enrachine dans le mythe de Prométhée l'essence de l'homme comme être technique - à *Ghost In The Shell*, le manga de Masamune Shirow qui traite de l'hybridation homme / machine, la fiction fourmille d'exemples qui, dans des formes artistiques variées, permettent de s'interroger collectivement sur la condition humaine et son devenir. Les enjeux sociotechniques, en particulier, font l'objet d'interrogations par la science-fiction, dont l'un des avantages est qu'elle est appropriable par tous. Pour naïve qu'elle paraisse parfois, elle est un genre qui se prête parfaitement au questionnement éthique et à une transformation collective de nos cadres de pensée.

POUR ALLER + LOIN : popsociences.universite-lyon.fr/le_mag



À ÉCOUTER → WEB

Interview de Jérémie Mattout, chercheur au sein l'équipe Dynamique cérébrale et cognition - Dycog du Centre de recherche en neurosciences de Lyon - CRNL.

1 > CNRS, Université Lyon 3, Université Lyon 2, Université Jean Monnet Saint-Étienne, Mines Saint-Étienne, INSA Lyon, ENS de Lyon, ENTPE, ENSAL.
2 > *De l'humain réparé à l'humain augmenté : naissance de l'anthropotechnie*, in Kleinpeter (dir.), *L'Humain augmenté*, Paris, CNRS éditions, 2013
3 > Université Claude Bernard Lyon 1.



12

AGRICULTURE ET ALIMENTATION

L'INNOVATION PEUT-ELLE RÉCONCILIER LES FRANÇAIS AVEC LEUR AGRICULTURE ?

Par Benoît de La Fonchais
Photographies :
© Visée.A ; Isara-Lyon

Soucieux de leur santé et de leur environnement, de nombreux consommateurs rejettent le modèle agricole qui les a nourris jusqu'ici : ils veulent du bio, du local, du terroir. En face, les agriculteurs dénoncent l'*agribashing* qui déferle sur eux et discrédite leur métier. Comment renouer le dialogue ? En puisant dans les recettes du passé ou en misant sur l'innovation ?

J eudi 11 avril 2019, la cour d'appel de Lyon a donné raison à l'agriculteur Paul François qui accusait la société Monsanto d'être responsable de son intoxication, en 2004, par un désherbant de la marque. Derrière ce procès opposant un paysan français et une firme multinationale à la réputation sulfureuse se dessine un procès plus vaste, celui de l'agriculture "moderne". On a l'habitude de parler de "révolution verte" pour désigner les progrès qui ont permis d'augmenter considérablement les rendements et de sécuriser les récoltes en faisant appel à la mécanisation, aux engrais et aux produits phytosanitaires, communément

appelés pesticides. On l'a un peu oublié, mais cet élan modernisateur de l'agriculture s'est accompagné d'une augmentation et d'une diversification de l'offre alimentaire ainsi que d'une sécurité alimentaire sans pareilles. Une chose est sûre : depuis le début des années 2000, ce modèle est remis en question. Le contrat de confiance qui liait les Français à leurs agriculteurs se défait. Les premiers estiment que les agriculteurs ne se soucient pas assez de santé, d'environnement et de bien-être animal ; les seconds dénoncent l'hostilité de l'opinion publique et l'ingratitude des consommateurs. Comment les réconcilier ? En revenant à une agriculture à l'ancienne ou en misant sur l'innovation ?

► Pour essayer de comprendre la crise qui traverse notre système alimentaire, un peu de recul n'est pas inutile. Pierre Cornu, professeur d'histoire contemporaine et d'histoire des sciences à l'Université Lumière Lyon 2, rappelle qu'*"il n'y a pas eu d'âge d'or de la paysannerie ni de moment où il y aurait eu une harmonie stable entre l'Homme et la nature. Les sociétés agraires, souligne-t-il, sont des sociétés de la tension, de l'équilibre précaire, des soudures difficiles, où les phases de cherté et de disette alternent avec des phases d'abondance."* Qui se souvient aujourd'hui des famines qui ont décimé les campagnes françaises jusqu'au XIX^e siècle et de la peur de manquer qui a façonné les mentalités pendant des siècles ? Qui craint encore les intoxications alimentaires qui provoquaient chaque année des milliers de morts ? Peu de monde. Mais d'autres peurs ont surgi. Jamais les Français n'ont été aussi méfiants devant leur assiette. Huit sur dix jugent probable le risque que certains aliments nuisent à leur santé, selon l'étude Food 360° menée par l'institut Kantar TNS. *"Fondée ou non, cette perception engendre une attention accrue à toutes les informations qui permettent aux consommateurs de se rassurer sur la qualité des produits (origine, lieu de fabrication, mentions « sans » sur les packagings, produit bio...)"*, analyse Pascale Grelot-Girard,



© Harry Atkins

"Le monde agricole est aujourd'hui sans boussole, il a le sentiment de ne plus être porté par les politiques publiques."

Pierre Cornu

Professeur d'histoire contemporaine et d'histoire des sciences à l'université Lumière Lyon 2. Il vient de faire paraître une *"Histoire de l'Inra"* aux éditions Quæ.

directrice de l'expertise de l'Institut. Pourtant, l'alimentation n'a jamais été aussi sûre : la dernière crise sanitaire sérieuse remonte à l'année 1996 (crise de la "vache folle"). La crainte est devenue diffuse : le consommateur n'a pas peur pour aujourd'hui, mais pour demain. Il redoute les effets à long terme des produits transformés sur sa santé.

L'agroécologie, nouvelle feuille de route de l'agriculture française

Au souci de sa santé se mêlent désormais d'autres considérations. Le consommateur veut aussi avoir une approche plus responsable, note l'étude Food 360° : *"Il a pris conscience que ses choix ont des répercussions sur l'environnement, le bien-être animal ou le revenu des agriculteurs."* Ce qui le pousse à modifier son comportement alimentaire : il se tourne vers les produits bio, réduit sa consommation de viande ou fréquente les Amap (Association pour le Maintien de l'Agriculture Paysanne) et autres magasins de producteurs.

Autant de changements qui bousculent le monde agricole. Pris en tenaille entre une réalité économique impitoyable et les nouvelles attentes de la société, celui-ci doit se réinventer. Certains agriculteurs font le choix de se convertir à l'agriculture biologique, d'autres restent attachés au modèle qu'ils ont toujours pratiqué, d'autres enfin tentent de trouver une troisième voie, cherchant à limiter les intrants (engrais et pesticides) et à s'appuyer davantage sur l'agronomie et la nature - ce qu'on appelle l'agroécologie, nouvelle feuille de route de l'agriculture française et européenne. *"Cette crise fissure une profession qui était assez unie jusqu'ici, constate Pierre Cornu. Le monde agricole est aujourd'hui sans boussole, il a le sentiment de ne plus être porté par les politiques publiques."* Certes, la loi Agriculture et Alimentation, votée en octobre 2018, a redonné un cadre visant à rééquilibrer les relations commerciales et à promouvoir une alimentation saine et durable.

Mais, de l'avis même du ministre de l'Agriculture, *"le compte n'y est pas."* Les agriculteurs ont toujours du mal à vivre dignement de leur travail.

Pour Pierre Cornu, la crise doit être comprise à l'échelle du système alimentaire dans son ensemble, *"de la production au consommateur en passant par la distribution."* Il reconnaît qu'il n'est pas simple d'amener tous les acteurs concernés à discuter sereinement des évolutions nécessaires. Et déplore aussi une certaine hystérisation du débat public, notamment autour de la question du bien-être animal. *"Avec des vidéos dénonçant à juste titre des conditions d'élevage ou d'abattage intolérables dans certains endroits, une association comme L214 a projeté un imaginaire ultra-violent sur les filières animales"*, constate-t-il. Ces images ont pu entretenir un discours et des actions anti-viande, voire anti-élevage, qui découragent les éleveurs engagés dans le développement des filières de qualité.

Un climat exacerbé autour de la suppression du glyphosate

Ce climat exacerbé, on a pu le constater aussi autour du débat sur le glyphosate, herbicide le plus utilisé au monde, dont la France a décidé de se passer en trois ans, et plus largement sur celui des pesticides, dont certaines associations demandent l'interdiction totale. Autre terrain sensible : l'amélioration génétique des variétés. La forte opposition contre les plantes génétiquement modifiées au début des années 2000 a abouti à l'interdiction de la culture (2008) et de l'expérimentation d'OGM en plein champ (2013). Plus récemment, d'autres techniques d'amélioration génétique comme la mutagenèse ont été assimilées par la Cour de justice européenne aux OGM, au grand dam des experts des biotechnologies végétales.

Faut-il déduire de ces phénomènes que la science n'a plus sa place dans l'agriculture ? Ce n'est pas l'avis de Christophe David, directeur délégué de l'Isara, l'école



"L'innovation n'est pas seulement technologique, elle passe aussi par une meilleure connaissance des services que la nature rend à l'agriculteur."

Christophe David

Directeur délégué de l'Isara-Lyon, école d'ingénieurs en agriculture, alimentation, environnement et développement rural

d'ingénieurs en agriculture, alimentation, environnement et développement rural de Lyon. *"Ne cultivons pas la nostalgie : on ne reviendra pas à l'agriculture d'antan, affirme-t-il. Les solutions passent par l'innovation. Mais cette innovation n'est pas seulement technologique, elle passe aussi par une meilleure connaissance des écosystèmes agricoles et des services que la nature rend - gratuitement - à l'agriculteur."* On pense, bien sûr, à la pollinisation assurée par les insectes, mais il en existe de nombreux autres. On peut ainsi associer les espèces végétales sur une même parcelles afin qu'elles se protègent mutuellement des bioagresseurs (maladies, insectes et mauvaises herbes) ; renoncer au labour pour préserver la vie du sol et sa fertilité (agriculture de conservation) ; recourir au biocontrôle (contrôle par des mécanismes naturels) pour limiter la prolifération des insectes nuisibles ; *introduire des légumineuses*, qui fixent l'azote, entre deux cultures pour réduire les apports d'engrais ; planter des haies en bordure des parcelles pour favoriser le développement des insectes auxiliaires (favorables à l'agriculteur)... Toutes ces améliorations, qui structurent l'agroécologie, reposent sur l'observation et la science. ➊

LES PROMESSES DES CÉRÉALES PÉRENNES

À l'Isara, l'école d'ingénieurs en agriculture, alimentation, environnement et développement rural de Lyon, Olivier Duchêne mène sa thèse sur une variété pérenne de céréales. Sa particularité : elle n'a pas besoin d'être semée chaque année et assure une double production de grain et de fourrage.

À ce jour, l'essentiel de la production alimentaire mondiale provient de céréales annuelles telles que le blé, le maïs, l'orge ou le riz. Pour exprimer tout leur potentiel de rendement, ces cultures impliquent l'utilisation de produits fertilisants et phytosanitaires. Elles réclament également un travail du sol important en prévision du semis. Dans la nature, la famille des graminées, à laquelle appartiennent les céréales, est composée de plantes annuelles et de plantes vivaces. Dans l'histoire de l'agriculture, seules les graminées annuelles ont jusqu'ici été sélectionnées et domestiquées pour la production de céréales. Mais cela pourrait bientôt changer. Dans différents laboratoires internationaux, des chercheurs ont commencé à sélectionner des graminées vivaces afin d'introduire pour la première fois des céréales pérennes. Les atouts de ces céréales ? Leur rusticité, qui les rend moins sensibles aux aléas climatiques et aux maladies ; leur polyvalence : elles produisent à la fois des grains et du fourrage pour l'alimentation animale ; leurs services écosystémiques tels que la préservation de la fertilité des sols et le contrôle des adventices sans herbicides.

Reste à évaluer les conditions de développement de ces céréales pérennes pour définir des modes de production adaptés à nos contextes climatique et agricole. C'est l'objet de la thèse menée par Olivier Duchêne, doctorant à l'Isara, l'école d'ingénieurs en agriculture, alimentation, environnement et développement rural de Lyon. Ses travaux s'inscrivent dans une large collaboration engagée par l'institut avec diverses universités américaines, belge et suédoise, l'Inra de Clermont-Ferrand ainsi qu'avec des professionnels des secteurs de la collecte des céréales et de la production de semences.

En visite dans une parcelle d'essai située en Isère, le doctorant Olivier Duchêne observe les épis de céréales pérennes semées à côté de céréales annuelles. Les premières ont un système végétatif très important, les secondes concentrent leur énergie dans les épis.



Diplômé de l'Isara-Lyon, Olivier Duchêne cherche à évaluer les conditions de développement des céréales pérennes pour définir des modes de production adaptés au contexte français.



Encore proches de l'état sauvage, les céréales pérennes doivent être domestiquées et hybridées pour que leurs qualités nutritionnelles se rapprochent de celles des céréales annuelles.

Olivier Duchêne surveille la pousse de micro-parcelles de Kernza, nom de la variété de céréales pérennes la plus utilisée actuellement pour l'expérimentation.



Photographies : © Isara-Lyon



La moisson des céréales pérennes permettra à terme de récolter du grain pour l'alimentation humaine et du fourrage pour l'alimentation animale.



Principal atout des céréales pérennes, ici du miscanthus : elles n'ont pas besoin d'être semées chaque année, ce qui évite le travail du sol et assure une couverture permanente bénéfique.



Avec ses grains petits et effilés, le Kernza ne peut rivaliser avec les rendements des variétés de céréales utilisées par les agriculteurs (15 quintaux / ha, contre 70 en moyenne).

“L'idée qu'on pourrait se passer du génie agronomique et revenir à des pratiques « traditionnelles » est une utopie dangereuse.”

Pierre Cornu

➤ Rien de surprenant pour Pierre Cornu. "Cela fait longtemps que les systèmes alimentaires sont gouvernés par un principe d'innovation, rappelle l'historien de l'agriculture. C'est ce qui a poussé les agriculteurs à mieux irriguer, à créer des terrasses, à planter des haies coupe-vent, à chercher à améliorer leur cheptel ou à essayer de nouvelles variétés de blé. Autant d'avancées, pas forcément spectaculaires, mais efficaces pour produire des systèmes équilibrés. Toute innovation qui s'inscrit durablement dans les usages est le fruit d'une co-construction entre des savoirs formalisés et la pratique", souligne Pierre Cornu, qui rappelle que la III^e République avait nommé un professeur d'agriculture dans chaque département afin d'aider les agriculteurs à adopter des pratiques rationnelles et augmenter la qualité de leurs produits. "L'idée qu'on pourrait se passer du génie agronomique et revenir à des pratiques « traditionnelles » est une utopie dangereuse, estime-t-il. On peut piloter une transition rapide vers des systèmes plus sobres en intrants, supprimer le gâchis, les glucides et protéines inutiles à notre santé, mais cela demande un contrat de confiance entre la société, l'État et les scientifiques."

L'agriculture de précision mise sur le numérique

Si l'innovation en agriculture ne peut se réduire à la technologie, elle ne va pas s'en priver. C'est le cas dans le domaine de l'agriculture "de précision", qui mobilise l'informatique, la cartographie satellite ou par drone, le big data et l'intelligence artificielle pour développer des outils d'aide

ILS TESTENT LA RÉSILIENCE DE NOS SYSTÈMES ALIMENTAIRES

Jusqu'il y a peu, la question de la sécurité alimentaire était réservée aux pays les plus démunis. Mais avec le réchauffement climatique et les nombreux risques systémiques auxquels nos sociétés industrialisées sont exposées, elle nous concerne aussi désormais. La raison ? Notre système alimentaire est en réalité très vulnérable en raison de la sophistication des chaînes d'approvisionnement et de leur extrême dépendance aux énergies fossiles. Résultat ? Une contrainte sur la disponibilité en pétrole ou une crise financière peuvent conduire à des ruptures dans ces chaînes, compromettant en quelques jours la sécurité alimentaire du pays. C'est ce constat qui a poussé Arthur Grimonpont, ingénieur spécialisé dans l'aménagement du territoire, et Félix Lallemand, docteur en écologie et évolution du Muséum national d'Histoire naturelle, à s'intéresser à la résilience de nos systèmes alimentaires, autrement dit leur "capacité à absorber un choc et à se réorganiser tout en conservant les mêmes fonctions." Pour structurer leur action, ils ont créé une association, joliment appelée Les Greniers d'abondance, qui poursuit un triple objectif : mener des programmes de recherche, favoriser la communication et accompagner les institutions souhaitant s'engager dans cette voie. Leur premier projet de recherche-action, dénommé Orsat, sera mené avec la communauté d'agglomération du Grand Angoulême. L'objectif : évaluer la vulnérabilité du territoire, identifier des critères de résilience des systèmes alimentaires et déterminer les moyens pouvant être mobilisés par les collectivités pour transformer leur modèle d'alimentation. Ce projet interdisciplinaire rassemble des laboratoires de recherche, des associations, des experts et des collectivités. Il débouchera sur la publication d'un guide à destination des collectivités souhaitant s'engager pour la résilience alimentaire de leur territoire.

POUR ALLER + LOIN : resiliencealimentaire.org



Arthur Grimonpont et Félix Lallemand, fondateurs des Greniers d'abondance, à l'épicerie des Halles de La Martinière (Lyon).

à la décision permettant à l'agriculteur de piloter plus finement son exploitation. Ces outils permettent ainsi de limiter l'apport d'engrais ou de positionner au mieux les traitements des cultures.

L'innovation passe aussi par les biotechnologies, avec les limites propres à l'Union européenne, notamment pour proposer des variétés plus résistantes au stress (hydrique, climatique). Une tendance qui se traduit par l'amélioration génétique d'espèces bien connues, mais aussi par la mise en culture d'espèces ou de variétés délaissées jusqu'ici. Plusieurs laboratoires dans le monde travaillent ainsi en ce moment sur des **céréales pérennes** (n'ayant pas besoin d'être semées chaque année) qui permettraient de préserver les sols et de diversifier les productions végétales.

L'impact du réchauffement climatique est déjà perceptible

S'adapter au réchauffement climatique qui vient : s'il est un secteur qui s'y prépare, c'est bien celui de l'agriculture. Les variations de température, de pluviométrie, de nuisibilité des bioagresseurs vont avoir un impact, déjà perceptible, sur les cultures. Plus largement, ce sont nos systèmes alimentaires et l'offre qui en résulte qui risquent d'être fragilisés. Cette question taraude depuis quelques années Arthur Grimonpont et

POUR ALLER + LOIN : popsociences.universite-lyon.fr/le_mag



À LIRE → WEB

Développer les céréales pérennes pour préserver les sols et diversifier les productions végétales.

“La réconciliation des Français avec leur agriculture passe par une reconnexion entre l'alimentation et l'agriculture.”

Christophe David

Félix Lallemand, deux jeunes scientifiques lyonnais, qui ont lancé un programme de recherche axé sur la résilience des systèmes alimentaires face aux grandes menaces (climatiques, énergétique, économique, écologique...) qui pèsent sur notre monde (lire l'encadré ci-contre).

Ce rapide tour d'horizon montre qu'il existe aujourd'hui de nombreuses pistes pour réussir la transition alimentaire. Elles réclament toutes de l'innovation et de la sagesse. Pas question de répéter les erreurs des Trente Glorieuses. "L'intensification de l'effort de recherche doit être orientée vers l'alimentation durable des populations et non vers l'optimisation des processus industriels", résume Pierre Cornu. "Quant à la réconciliation des Français avec leur agriculture, elle passe par une reconnexion entre l'alimentation et l'agriculture", estime Christophe David (voir son interview en ligne) : "Il faut expliquer au consommateur d'où vient l'alimentation et remettre en place une éducation à celle-ci."



À REGARDER
→ P. 16

Les promesses des céréales pérennes



À REGARDER → WEB

Moissonnera-t-on un jour des céréales pérennes en France ?

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE :

CE QUE NOUS DISENT LES CLIMATS ANCIENS

Par Grégory Fléchet
Photographies : © Visée.A

De la toundra sibérienne à la calotte de glace de l'Antarctique, des scientifiques étudient les archives climatiques de notre planète. Ils poursuivent un même objectif : identifier les conséquences à venir du changement climatique en cours sur les écosystèmes et les sociétés humaines pour mieux s'y préparer.

Le réchauffement planétaire actuel est indéniable, singulier et inquiétant par sa soudaineté et son intensité. Des chercheurs remontent désormais plusieurs millions d'années en arrière pour retrouver des conditions atmosphériques similaires et prévenir de la meilleure conduite à adopter afin de s'en sortir sans trop de dommages. L'acceptation de ce phénomène global par la majorité de la population doit beaucoup au travail des climatologues qui étudient sans relâche l'évolution actuelle du climat. *"Alors qu'en l'espace de 150 ans, la température moyenne à la surface de la Terre a déjà augmenté de près de 1°C. Le réchauffement se poursuit à un rythme de plus en plus soutenu, la hausse des*

températures atteignant désormais 0,2°C par décennie", souligne Valérie Masson-Delmotte, paléoclimatologue au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et co-présidente du groupe de travail du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) chargé d'étudier les bases physiques du climat. Inédit de par sa rapidité, cet épisode de réchauffement l'est aussi par sa cause : l'injection massive dans l'atmosphère de gaz à effet de serre résultant des activités humaines tel que le dioxyde de carbone (CO₂). Pour prendre la mesure des perturbations que risque d'engendrer un tel phénomène, l'étude des climats anciens se révèle nécessaire. **i**

20
CLIMAT

Il faut en effet remonter jusqu'au Pliocène, il y a 3 millions d'années, pour retrouver une concentration atmosphérique en CO₂ comprise entre 400 et 500 ppm¹ comparable à celle que l'on observe aujourd'hui. Et si l'on veut établir un parallèle avec les projections les plus pessimistes du Giec à l'horizon 2100, il convient cette fois-ci d'effectuer un bond de 56 millions d'années dans le passé. À cette époque, que les géologues qualifient de maximum thermique du Paléocène-Eocène (PETM), la concentration de CO₂ atmosphérique dépassait vraisemblablement les 1 600 ppm.



Guillaume Suan

Enseignant-chercheur au laboratoire de géologie de Lyon - Terre, Planètes et Environnement (LGL-TPE), ce géologue de formation s'est spécialisé dans les liens entre changements environnementaux et perturbations géochimiques globales dans les temps anciens.

Les informations sur ces lointaines phases de réchauffement sont issues de carottages sédimentaires profonds réalisés dans le nord-ouest de l'océan Pacifique ou bien sur les couches géologiques affleurantes situées sur l'archipel de Nouvelle-Sibérie, dans l'océan Arctique. Grâce à l'étude des fossiles de micro-organismes et des grains de pollen emprisonnés dans ces roches, couplée à l'analyse des compositions isotopiques de l'oxygène et du carbone, les chercheurs du LGL-TPE parviennent à reconstituer l'environnement naturel de l'époque. Ces travaux fournissent également de précieux indices sur la

façon dont le climat actuel pourrait évoluer en réponse à une forte augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂. Comme le fait d'ailleurs remarquer Guillaume Suan : "Durant la phase du PETM, au cours de laquelle la température à la surface de la Terre a augmenté d'environ 5°C en l'espace de quelques milliers d'années, ce qui est extrêmement rapide à l'échelle des temps géologiques, nous avons pu constater que les régions les plus humides du globe recevaient des pluies encore plus abondantes tandis que les plus sèches devenaient encore plus arides." Cet effet amplificateur est bien celui que prédisent les modèles de

Un parallèle entre climat passé et actuel

Reconstituer les climats passés de notre planète, c'est le travail qu'effectue Guillaume Suan, enseignant-chercheur en géologie au [Laboratoire de géologie de Lyon - Terre, planètes et environnement \(LGL-TPE\)](#)². Quel est l'intérêt de connaître le temps qu'il faisait il y a plusieurs millions d'années ? "Les archives associées à ces périodes géologiques chaudes jouent un rôle clé en matière de modélisation climatique. Elles fournissent des contraintes quantitatives qui vont permettre de tester la fiabilité des simulations à de très fortes teneurs atmosphériques en CO₂"

simulation climatique au cours des prochaines décennies si rien n'est fait pour réduire rapidement nos rejets de gaz à effet de serre.

La civilisation à l'épreuve du réchauffement

L'analyse des bulles d'air emprisonnées dans les glaces du continent Antarctique montre que le réchauffement actuel n'a pas eu d'équivalent (en ampleur et en rapidité) durant les derniers 800 000 ans. Toujours est-il qu'au cours de son histoire, l'humanité a été confrontée à plusieurs reprises à des périodes inhabituellement chaudes. Face à ces perturbations climatiques, les sociétés humaines ont longtemps pu miser sur l'adaptation en se réorganisant dans l'espace et sur le plan économique. "Depuis les débuts du Néolithique, il y a environ 10 000 ans, les phases de changement climatique rapide associées à des épisodes de stress thermique se sont succédées à intervalles réguliers, à l'image de l'optimum climatique romain situé entre 250 av. J.-C. et 400 ap. J.-C.", confirme Jean-François Berger, géo-archéologue au sein du laboratoire Environnement, ville, société (EVS)³ où il étudie notamment les impacts des changements climatiques sur les civilisations anciennes. L'Empire romain qui est alors au faite de sa puissance, compte de nombreuses cités érigées à mesure de son expansion le long des grands axes fluviaux. Mais à la suite de pénuries d'eau prolongées, la plupart de ces centres urbains sont en déclin à la fin de l'optimum climatique romain.

"Depuis les débuts du Néolithique, il y a environ 10 000 ans, les phases de changement climatique rapide associées à des épisodes de stress thermique se sont succédées à intervalles réguliers."

Jean-François Berger

Géo-archéologue au sein du laboratoire Environnement, ville, société (EVS).

"Leurs quartiers périphériques vont peu à peu laisser la place à des jardins, ce qui atteste d'une réduction significative du nombre de citadins, précise Jean-François Berger. Dans les campagnes, on assiste à une reconquête de la forêt consécutive à un fort abandon de l'activité agricole traduisant une diminution générale de la population." Un autre exemple significatif de la réorganisation sociale et économique d'une société suite à un stress climatique est celui de la sécheresse exceptionnelle qui affecta le sud de la France au début du Néolithique. Elle conduisit les populations d'agriculteurs à opter pour deux stratégies différentes : rejoindre les montagnes pour développer l'élevage à proximité de points d'eau pérennes ou gagner les côtes pour pratiquer la pêche en mer. **1**



À REGARDER
→ P. 24

Photoreportage
au Laboratoire
de géologie
de Lyon

1 > PPM signifie "partie par million". En climatologie, cette unité de mesure sert à indiquer le nombre de molécules de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄), protoxyde d'azote (N₂O)...) parmi un million de molécules d'air.

2 > ENS de Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1.

3 > CNRS, Université Lyon 3, Université Lyon 2, Université J. Monnet Saint-Étienne, Mines Saint-Étienne, INSA Lyon, ENS de Lyon, ENTPE, ENSAL

COURIR LES CONTINENTS SUR LES TRACES D'ANCIENS CLIMATS

Guillaume Suan, géologue et enseignant-chercheur (LGL-TPE), traque les archives sédimentaires témoignant de lointaines périodes de réchauffement climatique. Leur analyse au Laboratoire de géologie de Lyon contribue notamment à décrypter les mécanismes du dérèglement climatique en cours.



Une mangrove au pôle Nord. Cette succession de couches sédimentaires affleurantes située sur la péninsule Faddeïev, en Russie, s'est formée près du pôle Nord lors de l'optimum climatique de l'Éocène inférieur, il y a environ 55 millions d'années. Les échantillons de pollens, collectés par les chercheurs du Laboratoire de géologie de Lyon ont montré que cet environnement avait abrité la mangrove la plus septentrionale jamais documentée.

Des forêts en Nouvelle Sibérie
Ce paysage lunaire est celui de l'île russe de Nouvelle-Sibérie, dans l'océan Arctique. Il y a 90 millions d'années, elle était occupée par de vastes zones marécageuses couvertes de forêts. Les prélèvements effectués par Guillaume Suan et son équipe devraient aider à comprendre comment un tel écosystème a pu s'installer sous ces hautes latitudes.



Mémoire de phytoplancton.
Observation au microscope électronique d'un échantillon de sédiments marins constitué de nanofossiles calcaires. Ceux-ci résultent de l'activité du phytoplancton qui vivait à la surface des océans durant le Maximum Thermique du Paléocène-Éocène.



Un platane en Sibérie. Cette feuille fossilisée, découverte sur l'île de Nouvelle-Sibérie, appartient à une espèce de la même famille que le platane. Associée à d'autres vestiges de plantes fossiles, sa découverte suggère qu'un climat chaud et humide régnait en Arctique, il y a près de 100 millions d'années.



L'escargot comme archive climatique. Prélèvement d'un fragment de coquille de gastéropode. Une fois l'échantillon réduit en poudre, diverses analyses chimiques pourront ensuite être pratiquées. Elles serviront notamment à estimer la concentration de CO₂ atmosphérique dans l'environnement de l'organisme en question.



Cuisine géologique.
Préparation d'un échantillon sédimentaire sur le point d'être analysé. Une fois séché et finement broyé, une fraction de l'échantillon est placée dans une capsule métallique adaptée à l'analyse par spectrométrie de masse. Cette technique sert à mesurer l'abondance relative des différents isotopes du carbone et de l'oxygène dans les échantillons sédimentaires prélevés sur le terrain. L'étude du rapport du carbone 12 sur le carbone 13 permet ainsi de détecter des perturbations du cycle du carbone. Le rapport de l'oxygène 18 sur l'oxygène 16 contribue pour sa part à mesurer l'évolution des températures de l'océan.


À LIRE
P. 27
Interview
d'Olivier Boucher

› Migrer pour espérer échapper au changement climatique est aujourd'hui une réalité prégnante et - à rebours du Néolithique très peu peuplé - elle concerne désormais des centaines de millions de personnes. Il s'agit dès lors d'une fatidique conséquence plus que d'une solution, dans un monde globalisé et surpeuplé.

Une adaptation devenue inévitable

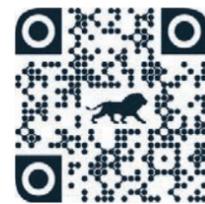
Faute de temps ou de volonté politique pour initier de nouveaux modèles socio-économiques à même de relever ce défi, d'aucuns envisagent de recourir à des méthodes "correctives" dites de **géo-ingénierie** dans l'espoir de contrecarrer au plus vite les effets du réchauffement climatique. Alors que le développement à grande échelle de telles solutions n'est pas sans présenter certains risques, elles pourraient bien devenir incontournables si nos émissions de gaz à effet de serre ne diminuent pas plus rapidement. *"Pour espérer contenir le réchauffement climatique au-dessous de 1,5°C, nous devons réduire nos rejets de CO₂ de moitié d'ici 2030 tout en atteignant la neutralité carbone à l'horizon 2050, c'est-à-dire faire en sorte d'injecter moins de CO₂ dans l'atmosphère que nous sommes capables d'en enlever,* rappelle Valérie Masson-Delmotte. *Or, en prenant en compte toutes les promesses d'action des États qui ont participé à la Conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques et sous réserve qu'elles soient toutes appliquées, nous devons plutôt nous attendre à un réchauffement de 3°C d'ici la fin*

“ Nous devons plutôt nous attendre à un réchauffement de 3°C d'ici la fin du siècle.”

Valérie Masson-Delmotte
Paléoclimatologue au CEA
et coprésidente du Giec

du siècle.” Bien que l'heure ne soit donc pas à l'optimisme, l'élaboration de stratégies visant à s'adapter au changement climatique est toutefois en train de monter en puissance. Pour passer à la vitesse supérieure, il convient désormais de coordonner ces initiatives avec les stratégies de transition énergétiques et agricoles, d'éradication de la pauvreté ou de développement de l'économie circulaire. *"Il est fondamental de penser toutes ces approches en système et non plus en silo comme on le fait aujourd'hui pour déployer des trajectoires de développement résilientes à l'égard du changement climatique",* conclut Valérie Masson-Delmotte.

POUR ALLER + LOIN :
popsociences.universite-lyon.fr/le_mag




À ÉCOUTER
→ **WEB**

L'ethnographie et le climat
Interview de
Christine Ambard




« LE RECOURS À DES MÉTHODES DE CAPTAGE DU CO₂ POURRAIT SE RÉVÉLER INDISPENSABLE DÈS LA SECONDE MOITIÉ DU XXI^E SIÈCLE »

Directeur de recherche au CNRS et climatologue à l'Institut Pierre-Simon Laplace, **Olivier Boucher a coordonné le chapitre "Nuages et aérosols" du cinquième rapport d'évaluation du Giec publié en 2013. Il nous explique le concept de géo-ingénierie climatique et les enjeux associés au déploiement à grande échelle de ces techniques.**

Quelles sont les solutions de géo-ingénierie envisagées pour atténuer le réchauffement climatique ?

Olivier Boucher : Elles sont de deux types. Il y a les techniques qui agissent sur le rayonnement solaire et celles qui visent à capter le CO₂ de l'atmosphère. Dans le premier cas de figure, l'injection de particules d'aérosols dans la basse stratosphère, à plus de 15 km d'altitude, reste la mieux étudiée. Certains scientifiques s'intéressent aussi à l'effet de la pulvérisation d'eau de mer à basse altitude dans le but d'augmenter le pouvoir réfléchissant des nuages. Ces méthodes destinées à atténuer le rayonnement solaire sont uniquement étudiées à partir de modèles mathématiques ou d'analogues naturels comme les éruptions volcaniques explosives. Les techniques de captage du CO₂ agissent quant à elles plus en amont en cherchant à réduire la quantité de ce gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Parmi les méthodes envisagées, on peut citer la bioénergie associée au captage et stockage du carbone (BECCS) ou le captage direct du CO₂ de l'air avant stockage (DACCS).

À la différence des techniques de gestion du rayonnement solaire, le captage du CO₂ existe déjà.

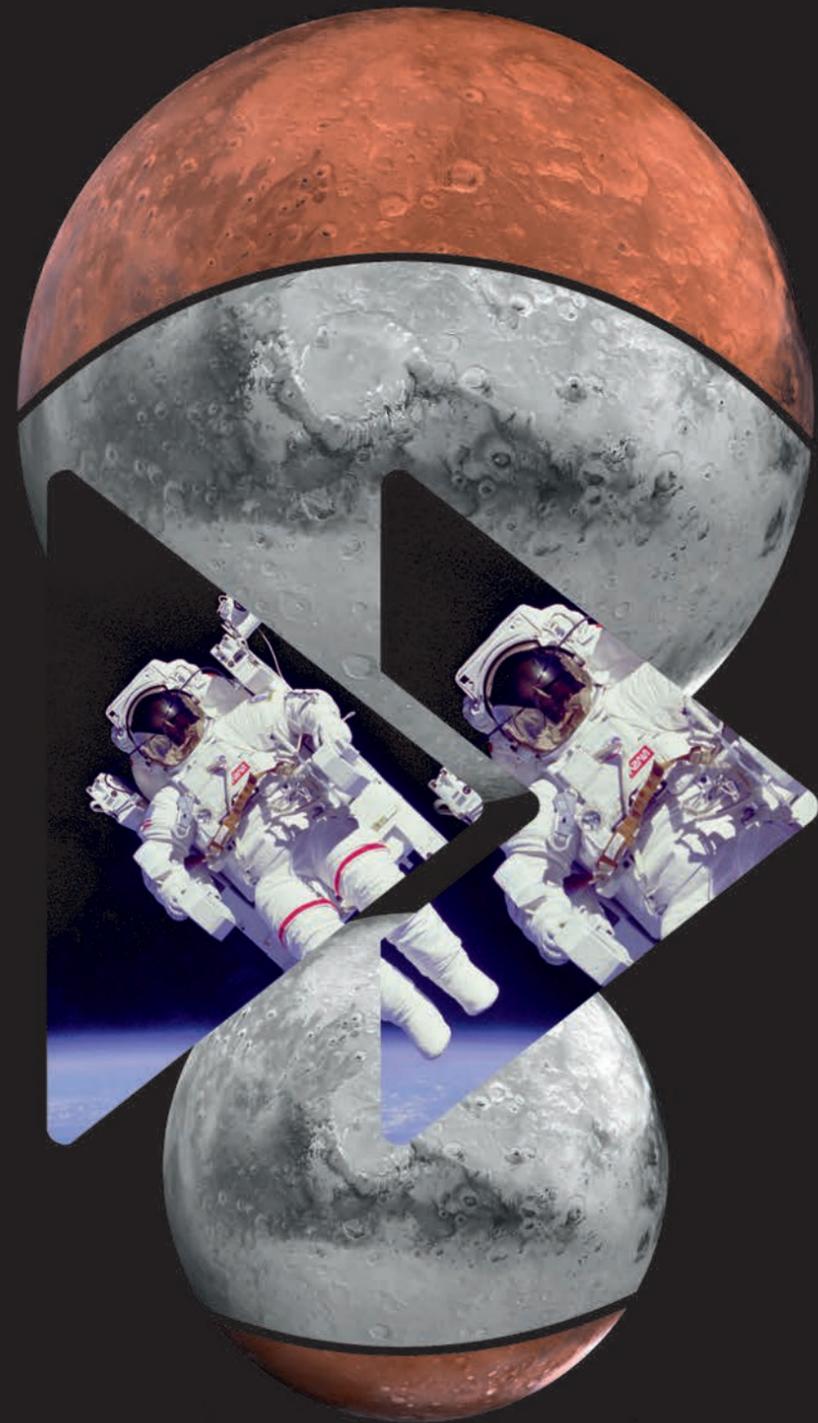
O.B. : Tout à fait, même s'il s'agit essentiellement d'expérimentations menées à petite échelle. C'est par exemple le cas du projet pilote de la start-up Climeworks, lancé en 2017 près de Zurich. Une fois le CO₂ de l'air piégé à l'aide d'un filtre, il est transporté jusqu'aux serres d'une exploitation agricole pour servir de fertilisant. La société canadienne Carbon Engineering entend quant à elle capturer puis purifier le CO₂ dans le but de produire du carburant liquide. Mais en l'absence de marché d'enfouissement du carbone, les entreprises qui développent actuellement des projets autour du captage du CO₂ privilégient toutes son utilisation à son stockage.

Est-il encore possible de limiter ce réchauffement à 1,5°C sans avoir recours à la géo-ingénierie ?

O.B. : Le réchauffement climatique devrait atteindre 1,5°C entre 2030 et 2050 si nos émissions de gaz à effets de serre se poursuivent au rythme actuel. La faisabilité de l'objectif à 1,5°C dépend de la valeur exacte de la sensibilité du climat, autrement dit de l'ampleur du réchauffement de la surface terrestre en réponse à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre de l'atmosphère. Si cette sensibilité climatique se situe dans la partie haute de la fourchette, le recours à des méthodes de captage du CO₂ sera indispensable dès la seconde moitié du XXI^e siècle si l'on veut rester sous le seuil des 1,5°C.

Quels seraient les effets de la mise en œuvre, à grande échelle, de ces techniques de géo-ingénierie ?

O.B. : En raison des caractéristiques particulières du cycle du carbone, le potentiel de déploiement et de mise en œuvre des solutions de captage et de stockage du CO₂ reste limité. Si les techniques d'atténuation du rayonnement solaire autorisent à l'inverse un refroidissement rapide et substantiel, celui-ci ne sera toutefois pas uniforme. La gestion du rayonnement solaire appliquée à grande échelle - on estime qu'il faudrait injecter 10 millions de tonnes de dioxyde de soufre (SO₂) chaque année pour abaisser la température planétaire de 1°C - risque en outre de détruire l'ozone stratosphérique qui nous protège du rayonnement ultraviolet. L'application de cette technique engendrerait par ailleurs une réduction des précipitations dans certaines régions du globe sans compter qu'elle n'aurait aucun effet sur le phénomène d'acidification des océans résultant du réchauffement climatique.



28
ESPACE

CONQUÊTE SPATIALE → SAISON 2

Par Fabien Franco
Photographies : © Visée.A

Quand on parle d'aller sur Mars, certains y voient un formidable défi à relever. D'autres, du temps perdu à ne pas tenter de rendre meilleure la vie sur Terre. Nous sommes repartis comme aux plus belles heures de l'exploration spatiale, pour autant est-ce une réelle avancée pour l'humanité ? Et si le véritable enjeu résidait dans la relation intime qu'entretiennent les humains avec le cosmos ?

Dans son roman *Mars blanche*¹, l'auteur anglais de science-fiction Brian Aldiss prévient : "Les planètes sont des environnements qui possèdent leur intégrité propre. Tout projet technologique de grande envergure serait une agression. La conséquence ultime ne pourrait être que la transformation de Mars en banlieue lugubre, imitant les aspects les moins séduisants des villes terrestres. Un complexe militaro-industriel la gouvernerait certainement." Pessimiste ? Peut-être. Toujours est-il que se poser la question du voyage sur Mars et de l'exploration spatiale n'a rien d'anodin. Au-delà des enjeux de progrès technologique, géopolitique et scientifique, elle interroge les capacités de l'espèce humaine à se penser et à inventer.

Conquêtes et profits

Le Président américain a récemment remis la conquête spatiale sur le devant de la scène médiatique, déclarant sa volonté d'envoyer des astronautes américains sur la Lune d'ici à 2024. Le gouvernement chinois multiplie les projets à destination spatiale jusqu'à cet alunissage réussi sur la face cachée de la Lune en début d'année. En 2019, Roscosmos, l'agence spatiale russe, assurera pas moins de neuf lancements depuis Baïkonour (Kazakhstan) et Kourou (Guyane). L'Inde, qui a ramené ses propres images de Mars (sonde MOM), développe elle aussi un programme spatial ambitieux. À l'instar de l'État israélien qui, avec la sonde *Bereshit* ("au commencement", premier mot du livre de la Genèse en hébreu), s'ajoute aux rares pays qui ont envoyé un engin sur la Lune. 

¹ > *Mars blanche* ou *La libération de l'esprit. Utopie du 21^e siècle*, de Brian Aldiss, co-écrit avec Roger Penrose, l'éminent physicien et mathématicien. Paru en France en 2001, traduit de l'anglais par Daniel Lemoine, aux éditions Métailié. Titre original *White Mars*, première édition Brian W. Aldiss et Roger Penrose, 1999.

Quant à l'Europe, elle continue à financer de nombreux programmes dans l'espace et depuis la Terre². Autant de projets qui foisonnent dix ans seulement après la crise financière de 2008. Pour autant, l'exploration des étoiles est-elle vraiment onéreuse ? Avec 37 € par an et par habitant, et même si le budget que consacre l'État français à l'espace est le deuxième au monde, l'investissement reste relativement modéré. Cet investissement comprend la contribution à l'agence spatiale européenne (965 M€) et le programme national (726 M€). D'après les estimations de la Nasa, le coût d'une mission à destination de Mars s'élèverait à une somme comprise entre 200 et 300 milliards de dollars soit 1 à 1,4 % du PIB des États-Unis en 2018.

L'argent investi dans l'exploration spatiale n'est pas motivé par les seuls intérêts scientifiques. Quel retour sur investissement escomptent les états dans ce qui semble être une nouvelle course aux étoiles ? *"Le premier investisseur de l'exploration spatiale est le complexe militaro-industriel, rappelle Ghaouti Hansali, physicien, chercheur à l'Institut des Origines de Lyon (LabEx LIO), car très peu de domaines sont capables de mobiliser autant de moyens sur le long terme et la guerre est l'un d'entre eux."* À l'heure où les géants chinois et américain entrent en concurrence sur la scène internationale, ce n'est pas un hasard si l'exploration spatiale marque son retour dans l'agenda géopolitique de ces deux nations. Elle est l'un des vecteurs par lequel les États affirment leur puissance.



"Le premier investisseur de l'exploration spatiale est le complexe militaro-industriel."

Ghaouti Hansali
Physicien, chercheur à l'Institut des Origines de Lyon (LabEx LIO)

Cependant, comme on le verra plus loin, tous ne jouent pas dans la même catégorie. Et tout ce "petit monde" se retrouve pacifiquement dans le Bureau des affaires spatiales, l'organe onusien chargé de favoriser l'utilisation de la science et de la technologie spatiales pour le développement économique et social de tous les pays. Fort heureusement, les politiques spatiales sont aussi motivées par la science. Et leurs retombées sont abondantes, infusant dans nombre de domaines et pas uniquement dans ceux de la sécurité et de la défense. Les télécommunications, l'informatique, la navigation, la biologie, la climatologie, la géologie, l'hydrologie, la chimie, la physique fondamentale, etc. bénéficient des moyens mis en œuvre et des nouvelles découvertes qu'ils permettent.

Puissance politique, dynamisme économique, intérêt scientifique... L'espace demeure bel et bien cet écran sur lequel l'humanité projette ses richesses et ses contradictions. Du côté de la science, on s'affaire activement pour rendre possible des observations et des voyages jamais effectués jusqu'alors. Tout d'un coup, la Lune et même la planète rouge semblent plus que jamais accessibles.

Exploration spatiale, enjeux humains

Ces dernières décennies ont été des plus stimulantes et ont vu l'échelle d'exploration passer de la "proche banlieue terrestre" à des confins extrêmement plus lointains de notre galaxie. La première exoplanète a été découverte par les astronomes suisses Michel Mayor et Didier Queloz en 1995. Dix ans plus tard, une lune de Saturne nommée Titan devenait l'ultime frontière de l'humanité : la sonde Huygens envoyée par l'agence spatiale européenne s'y est posée tout en douceur après un voyage d'1,5 milliard de kilomètres. La cartographie du supercontinent de galaxies Laniakea par l'astrophysicienne Hélène Courtois et son équipe de l'Institut de physique nucléaire

de Lyon³ en 2014 a permis de situer plus précisément la Voie lactée, et donc notre système solaire, dans l'Univers.

—
Aller sur Mars, c'est comprendre ce qu'a pu être la Terre il y a quatre milliards d'années, une période considérée comme celle de l'apparition de la vie sur Terre.
—

Mais la décennie qui vient annonce le grand retour de Mars comme nouvel horizon à explorer. Cathy Quantin-Nataf et son équipe du Laboratoire de géologie de Lyon⁴ ont identifié et sélectionné le site d'atterrissage de la mission européenne Exo Mars. En 2021, le véhicule baptisé Rosalind Franklin⁵ y roulera avec l'objectif de déceler d'éventuelles traces de vie fossilisée.

Le rover sera équipé de neuf instruments russes et européens et pourra forer jusqu'à deux mètres de profondeur, pour atteindre une zone protégée des rayonnements cosmiques et des oxydants de surface. Aller sur Mars, c'est comprendre ce qu'a pu être la Terre il y a quatre milliards d'années, une période considérée comme celle de l'apparition de la vie sur Terre, *"et la plupart des roches sur Mars sont datées de cette époque"*, informe la géologue. Si tout se passe bien, se posera alors la question d'envoyer des êtres humains sur Mars. *"Je ne suis pas sûre qu'il y ait un grand intérêt, Mars étant très inhospitalière. Une mission robotisée me semble plus pertinente"* analyse-t-elle. **1**

2 > Au Chili, l'Europe est en train de construire le plus grand télescope au monde, l'ELT (Extremely Large Telescope). Il visera entre autres la recherche d'exoplanètes dans cette "zone habitable" où la vie pourrait exister. www.eso.org
3 > CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, Université de Lyon
4 > ENS de Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, Université de Lyon
5 > Du nom de la biologiste britannique qui a permis d'identifier la structure en double hélice de l'ADN.

OBSERVATOIRE DE LYON. L'INSTRUMENTATION DES ÉTOILES

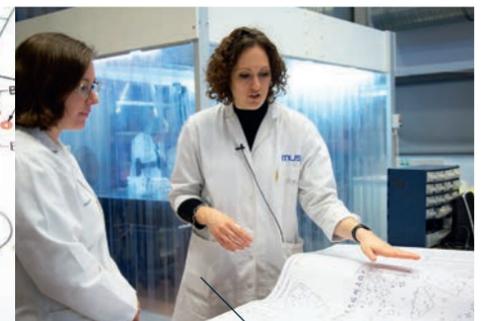
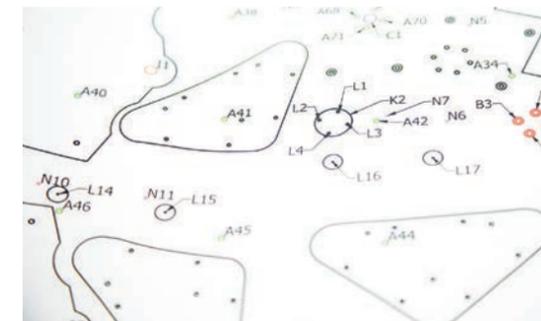
Les ingénieurs, techniciens et astrophysiciens lyonnais élaborent des instruments innovants pour observer l'espace. Leur domaine de prédilection est l'exploration "à l'aveugle" d'un grand volume de l'Univers par la spectrographie intégrale de champ. Cette dernière permet de d'obtenir, en une seule fois, une quantité jamais atteinte de données sur la source qu'on observe (mouvement, température, composition, éloignement...). C'est dans le hall d'intégration à l'Observatoire de Lyon (site historique de Saint-Genis-Laval) que les scientifiques ont assemblé MUSE, aujourd'hui l'instrument le plus demandé à l'ESO, l'observatoire européen austral basé dans le désert d'Atacama au Chili. MUSE (pour *Multi Unit Spectroscopic Explorer*) permet d'observer pour la première fois, d'autres galaxies que la nôtre. Porté par le Centre de recherche astronomique de Lyon (Cral)¹, et développé en collaboration avec six laboratoires européens, il a été installé sur le VLT (*Very Large Telescope*) en 2014.

Des milliers de spectres de galaxies et d'étoiles pourront être enregistrés dans le cadre du projet de spectrographe Nirspec (near infrared spectrograph) auquel le Cral participe également. Ce dernier, conçu pour observer l'Univers en infrarouge, sera installé sur le James Webb Space Telescope, le télescope spatial successeur de Hubble. Il sera lancé par une fusée Ariane 5 depuis Kourou, le 30 mars 2021. Développé par les agences spatiales américaines, européennes et canadiennes, il observera l'Univers dans l'infrarouge. Le Cral est aussi responsable de la conception, de la réalisation et de l'assemblage des deux spectrographes de basse résolution qui seront installés sur 4MOST, un spectrographe très grand champ multi-objets à fibres optiques. Il sera monté sur le plus grand télescope du monde dédié à la cartographie systématique du ciel, Vista, au Chili. Enfin, c'est le projet Harmoni qui mobilise actuellement le centre de recherche lyonnais. Il a pour objectif d'explorer la formation des galaxies et de caractériser les exoplanètes, ces planètes situées hors de notre système solaire, dont celles qui pourraient héberger la vie. Ce spectrographe à très haute résolution devrait être installé sur l'ELT (*Extremely Large Telescope*) : doté d'un miroir primaire de 39 mètres de diamètre, il sera en 2024, le plus grand télescope jamais construit par l'ESO.

Le hall d'intégration du Cral a été conçu pour préparer les instruments destinés aux grands observatoires. La zone d'accueil est protégée des poussières et isolée des vibrations. La température y est maintenue à 20°C et le taux d'humidité contrôlé pour ne pas dépasser 55 %.



Le cryostat permet de tester la résistance et le comportement au vide et au froid des éléments mécaniques et optiques des spectrographes. Il permet d'atteindre une température de 130 degrés Kelvin, soit -145,15 degrés Celsius.



Le bras de mesure métrologique, qui sera monté par la suite dans le cryostat, permet de vérifier les dimensions et le positionnement des pièces qui seront utilisées dans la phase d'intégration.



Montage d'un laser traqueur. Cet instrument est utilisé dans la mesure, par faisceau laser, des positions des objets célestes.

Les supports des éléments optiques qui vont être montés sont installés sur une table optique. Le plan global permet de visualiser le positionnement précis de l'ensemble des pièces : miroir, lentilles et caméras, autant d'éléments qui constituent le spectrographe.



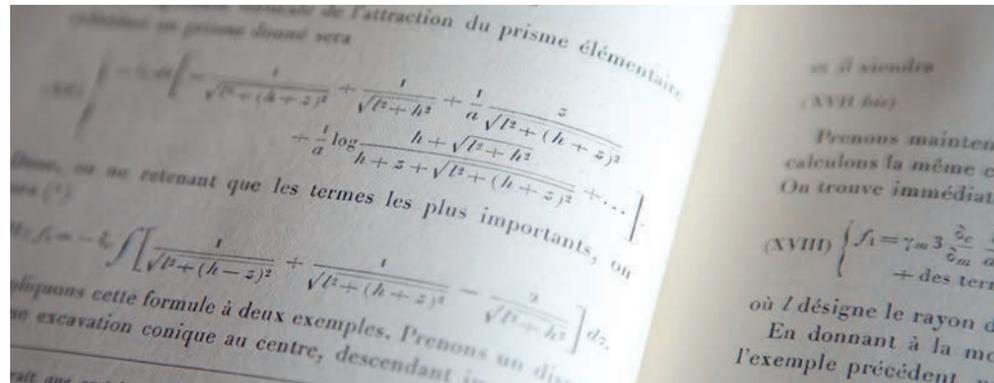
Ces instruments servent à **aligner les optiques** qui seront montées sur les spectrographes. Le montage optique utilise des lasers à haute puissance.

“La concurrence est grande, mais les États-Unis jouent bien en première division.”

Cathy Quantin-Nataf

Laboratoire de géologie de Lyon

En 2021, Cathy Quantin-Nataf sera aux premières loges pour voir atterrir le robot européen. Cette année-là, les États-Unis auront envoyé leur propre rover collecter des échantillons en surface qui devront être récupérés et analysés. Les ingénieurs de la Nasa ont prévu en outre de survoler les reliefs martiens à l'aide d'un drone piloté depuis la Terre. La Chine, devrait être présente, elle aussi, sur la planète rouge à ce moment-là, on ne sait encore avec quel dispositif. *“La concurrence est grande, mais les États-Unis jouent bien en première division, contrairement aux Européens, qui n'ont pas encore réussi à poser un véhicule sur Mars, et les Chinois, pour qui ce serait une première tentative”*, commente la scientifique spécialisée en géologie extraterrestre. Celle qui vit désormais dans le temps long, collectif et cosmopolite de l'exploration spatiale partage, enthousiaste : *“C'est extraordinaire de travailler dans une équipe internationale unie par un objectif commun qui fait avancer la connaissance.”* Preuve, s'il en est, que l'exploration spatiale mobilise à la fois le cœur et la tête...



Depuis l'aube des temps, les êtres humains arpentent de nouveaux territoires et l'Univers repousse aujourd'hui les frontières du possible pour les éternels explorateurs que nous sommes.

Besoins élémentaires

Si la technologie le permet, il est fort probable que des femmes et des hommes fourniront les efforts nécessaires pour atteindre ces régions spatiales hostiles, froides, sans possibilité de retour. *“L'exploration spatiale répond à un besoin universel”* relève Ghaouti Hansali. *“Je ferais le parallèle avec l'art. Bien qu'inutile pour nourrir la planète, l'art demeure indispensable aux êtres humains. Les sciences spatiales procèdent d'une démarche similaire. Elles répondent à une curiosité fondamentale.”* Qu'en est-il de la dimension éthique ? *“La Nasa a déjà posé la question de la protection planétaire. En cas de doute sur la présence de vie, on n'atterrit pas. Parce que nous n'avons pas les moyens d'étudier une forme de vie sans la contaminer”* répond la géologue. *“La Terre est un petit grain dans l'espace, mais pour l'être humain c'est tout. Aller sur Mars, c'est voir la non-unicité de la place de l'Homme, c'est toucher du doigt la diversité de l'Univers”* conclut le physicien.

COMPRÉHENSION DE L'UNIVERS : CE SERA ENCORE MIEUX DEMAIN !



Emmanuel Pécontal

Historien et astronome au Centre de recherche astronomique de Lyon - CRAL

En astronomie, le progrès est une réalité quantifiable. L'humanité avance dans sa quête de l'infini, au gré des avancées technologiques et des observations qu'elles permettent. Les années 2010 sont particulièrement stimulantes. Avec l'observation des ondes gravitationnelles en 2015, la théorie d'Albert Einstein est confirmée d'une manière inédite. La déformation mesurée de l'espace-temps, née de la coalescence (réunion) de deux trous noirs donne vie à une nouvelle science : l'astronomie gravitationnelle. En avril 2019, la relativité générale est à nouveau vérifiée avec la première image jamais produite d'un trou noir, M87, baptisé désormais Powehi (création sombre insondable ornée, en hawaïen), situé à quelque 53 millions d'années-lumière de la Terre. *“Le niveau de précision d'observation atteint revient à voir une pièce de 50 centimes à 5 millions de kilomètres de distance”*, illustre Emmanuel Pécontal, historien et astronome au Centre de recherche astronomique de Lyon (Cral). Ces deux observations scientifiques donnent la mesure du chemin parcouru, des astronomes de l'Antiquité aux astrophysiciens du XXI^e siècle.

Mesures et hypothèses

Ératosthène mesure la circonférence de la Terre, environ 40 000 km, dès le III^e siècle avant notre ère. Il a pu la déterminer en observant l'ombre portée d'un bâton de bois au soleil ! En 1781, William Herschel découvre Uranus, première planète observée par un télescope. Bien sûr, il faut des théories. La théorie de la force universelle de Newton met tout le monde d'accord jusqu'au XVIII^e siècle avant que de nouvelles observations astronomiques en ébranlent les fondations. Comment expliquer l'orbite de Mercure, si proche du Soleil que

sa course autour de l'étoile solaire en est modifiée ? Il faut attendre 1905 et la théorie de la relativité générale pour en comprendre les effets. *“Les équations d'Einstein décrivent pour la première fois la gravitation comme une déformation de l'espace-temps.”* Dès lors la géométrie de l'Univers en est bouleversée. Ce n'est plus une force universelle qui mène la course, mais bien les étoiles elles-mêmes qui déforment l'Univers autour d'elles. Comme une boule de billard viendrait déformer autour d'elle la surface d'un trampoline... L'Univers désormais est bien cet espace-temps relatif, et non plus un espace absolu dans un temps absolu.

Vers l'infini et au-delà

“Aujourd'hui, l'objet de la physique est de décrire le maximum de phénomènes avec le minimum d'hypothèses”, souligne Emmanuel Pécontal. En 2018, une image de l'ESO (Observatoire européen austral) parvient à mesurer le mouvement d'une étoile passant à proximité d'un trou noir. À nouveau, la déformation de l'espace-temps est observée. Demain, les observations astronomiques permettront des niveaux de précision jamais atteints. La formation des galaxies, la détection de vie extra-terrestre, la compréhension de la matière noire, l'accélération de l'expansion de l'Univers... Ce sont ces voies d'investigation qu'exploreront les astronomes modernes avec la même fascination que leurs illustres prédécesseurs.

DEMAIN, QUELLE SERA LA PLACE DU TRAVAIL ?

Par Samuel Belaud
Photographies : © Visée.A

Au fur et à mesure de son développement, le capitalisme a fait en sorte qu'un maximum d'entre nous puisse accéder au travail et que les conditions d'exercice s'améliorent. Malgré l'instauration de minimas sociaux et la réduction régulière du temps au travail, la précarité liée à l'emploi ne s'éteint pas. Le chômage subsiste à un niveau élevé et pour ceux qui travaillent des difficultés nouvelles apparaissent comme les *burn-out* ou, plus inquiétant, les suicides pour raisons professionnelles. Des chercheurs et des collectifs citoyens réinterrogent le partage du temps de travail, imaginent ce que le revenu universel pourrait apporter comme solutions et s'évertuent à supprimer le chômage de longue durée.

Les conditions de travail, de sécurité, d'hygiène et les avantages sociaux des travailleurs n'ont certainement jamais été aussi importants qu'ils ne le sont aujourd'hui en France. Cependant, la précarité et la pauvreté ont toujours été des caractéristiques sociétales constantes pour les travailleurs. Quand bien même il réduit largement les risques, l'emploi ne règle pas tout : en France en 2016, encore 10,8 % des travailleurs actifs vivaient dans des ménages dont le niveau de vie était inférieur au seuil de pauvreté. Également, au sens du Bureau international du travail (BIT), 2,6 millions de français sont encore au chômage à la fin de l'année 2018 et 1 million d'entre eux se déclare sans emploi depuis plus d'un an.

Les difficultés liées au travail précaire (faibles rémunérations, temps partiels, tensions psycho-sociales) et au chômage de longue durée persistent donc pour de nombreux ménages. Alors des initiatives citoyennes

et de nouveaux paradigmes socio-économiques prennent à bras le corps cette problématique et formulent de nouvelles façons de répartir le travail, de trouver un emploi à tous et de distribuer les revenus.

Le retour au plein emploi, une utopie ?

Une économie qui se veut productive a pour objectif de créer une quantité maximale de richesses (biens ou services) avec une quantité optimale de ressources naturelles, financières ou humaines. L'intelligence artificielle et la robotique accélèrent cette marche en avant de la productivité en amenuisant la part du travail humain dans les coûts de production, à mesure que des travaux et des procédures sont automatisés et confiés à la technologie. 

» Dans ce contexte, la quête du plein emploi, fait face à un double paradoxe. D'un côté, il s'agit de garantir une activité à temps plein à 97 % de la population (seuil théorique du plein emploi), alors même que la répartition de la production entre Hommes et machines est contrebalancée¹. De l'autre, quand bien même le temps de travail a diminué, le sentiment de manque de temps s'est accru : une enquête de l'INSEE publiée en 2011 précisait que *"le temps gagné sur le travail (lié aux réformes du travail entre 1998 et 2000) ne s'est pas intégralement reporté sur des activités extra-professionnelles."* De ce fait, plusieurs chercheurs élaborent des scénarios d'évolution qui, tous, partent d'une question fondamentale : quelle place le travail doit-il avoir dans nos vies ? Car s'il peine à être résorbé par les effets de la croissance économique, le chômage pourrait régresser en rééquilibrant les temps contraints et les temps dits "libres".

Nous sommes une société de travailleurs et l'emploi marque une différence sociale et économique entre ceux qui ont une activité salariée et les autres.

Baptiste Mylondo, enseignant à Sciences-Po Lyon et diplômé d'économie et de philosophie, trouve dommage que *"nos sociétés se plient à la survalorisation de*

l'emploi" et prône une action politique de libération du temps. Il s'attache comme d'autre, à l'instar des sociologues Dominique Méda et Denis Clerc², à défendre un modèle basé sur une nouvelle "norme du suffisant" chère au philosophe André Gorz. C'est -à-dire une libération des Hommes de la surconsommation et du travail, non pas que ce dernier ne soit pas important *"bien au contraire"*, nous dit Baptiste Mylondo, *parce qu'il nous permet de produire ce tout ce dont nous avons besoin pour vivre."* La norme du suffisant met en avant que le travail n'est pas "le tout de la vie". Une nouvelle génération d'économistes³ plaide également pour rééquilibrer la valeur du temps libre et celle de la production. Baptiste Mylondo assure en ce sens que *"nous avons besoin de cadrer le travail et les activités, mais nous avons également besoin de questionner la place qu'il occupe dans nos vies."* Le jeune enseignant ouvre un champ de réflexion nouveau en proposant de partager le travail différemment. Pour ce faire, il défend l'idée d'un temps partiel choisi de droit.

Passer son temps à moins travailler

Les Pays-Bas ont ouvert la voie à ce type de démarche en octroyant le droit, pour chaque employé, de choisir de travailler à temps partiel. Le succès de la formule est tel, qu'aujourd'hui un actif hollandais sur deux fait le choix de moins travailler.

En France, la possibilité de travailler à temps-partiel n'est pas un droit et reste soumise à l'aval de l'employeur. Amoureux du temps libre, Baptiste Mylondo déplore



"Transformer en profondeur la norme du travail et développer celle du temps libre."

Baptiste Mylondo

Enseignant à Sciences-Po Lyon et diplômé d'économie et de philosophie

qu'il soit difficile de faire le choix de moins travailler. Cela s'explique parce que *"la différence entre le temps partiel subi et choisi se fait essentiellement sur la base du revenu."* Les travaux de Dominique Méda⁴, directrice de l'Institut de recherche interdisciplinaire en sciences sociales (IRISSO) et professeure de sociologie, montrent pourtant que si les Français accordent de l'importance à l'emploi, 60 % d'entre eux considèrent y consacrer trop de temps. Alors, il plaide pour *"transformer en profondeur la norme du travail et développer celle du temps libre..."* Quitte à aller à l'encontre de ce que défendent certains syndicats, lesquels considèrent que le temps partiel ne sécurise pas assez le revenu. L'enseignant continue en affirmant que *"la réforme des 35 h est une occasion manquée."* Il explique : *"nous avons augmenté le temps de repos, mais pas le temps de vivre ! Je plaide pour aussi avoir la possibilité de « vivre » pendant la semaine en s'adonnant à d'autres activités que notre*

travail." Selon lui, il s'agira alors de réduire les longues périodes de congés pour *"les lisser sur l'année [...] à raison de 3 jours travaillés et de 4 jours pour soi."* Le fait de mettre la baisse du temps de travail sur la table des débats, nous permet au moins de réinterroger notre vision du temps libre et de réfléchir à ce que devraient être les activités autodéterminées des citoyens. La baisse du temps de travail procurerait davantage de temps disponible pour soi et pour les autres, mais qu'en faire ? Est-il réellement possible de réduire le temps de travail pour tous, sans perte générale de revenu ?

Le revenu universel, une solution à la précarité ?

L'idée d'un revenu universel traverse les différentes obédiences politiques et économiques. Libérales ou non, de nombreuses personnes défendent cette idée. Le dénominateur commun à tous ces courants consiste à mettre en œuvre un revenu binôme : celui du travail d'une part, qui baisse d'autant que la durée de travail diminue ; et d'autre part, un revenu social versé à vie qui compense le premier. La différence entre les deux modèles se jouant sur l'importance du montant du revenu social et sur l'existence ou non de contreparties à celui-ci. D'un côté, on prône ce nouveau revenu pour réduire l'intervention publique, mutualiser les prestations sociales en une seule (économies d'échelles) et libéraliser le marché du travail. De l'autre, on évoque un revenu suffisant pour échapper à la pauvreté, mais également pour permettre de se passer d'un emploi. ⓘ

1 > Le 25 avril 2019, l'OCDE estime, dans l'édition 2019 des *Perspectives de l'emploi*, que 16,4 % des emplois en France sont soumis à un risque élevé d'automatisation d'ici vingt ans

2 > *Emploi et travail chez André Gorz*. Denis Clerc et Dominique Méda, dans *André Gorz, un penseur pour le XXI^e siècle* (2009), pages 99 à 122

3 > Dont certains se sont regroupés en association : "Les économistes atterrés"

4 > *Le travail*. Dominique Méda, PUF, "Que sais-je ?", 2015

40 

DES TERRITOIRES À L'OBJECTIF « ZÉRO CHÔMEUR DE LONGUE DURÉE »

Des initiatives lancées par des associations soucieuses d'une meilleure intégration des plus démunis, tentent de changer la donne et font désormais office de modèle. À tel point que le projet Territoire Zéro Chômeur de Longue Durée - TZCLD porté initialement par l'ONG ATD Quart Monde a fait l'objet en 2016 d'une proposition de loi (adoptée à l'unanimité) puis d'un dispositif expérimental sur une dizaine de territoires, ruraux et urbains. Depuis maintenant plus de deux ans, leur objectif est d'engager en CDI et à temps choisi les chômeurs de longue durée qui sont volontaires. Ils exercent des activités "non concurrentes des emplois existants" répondant aux besoins immédiats des riverains, des entreprises voisines et des institutions.

Développer l'économie interstitielle

Bertrand Foucher est le président d'EmerJean, une entreprise de 82 salariés installée dans le quartier Saint-Jean de Villeurbanne qui s'inscrit dans l'expérimentation TZCLD. Il pose un double constat : "les compétences des chômeurs de longue durée ne sont aujourd'hui plus reconnue (...) et à l'échelle du quartier, de nombreux besoins ne sont pas couverts notamment parce qu'ils ne sont pas rentables économiquement." En réunissant les acteurs locaux de l'emploi (institutions publiques, syndicats patronaux et de travailleurs, associations, centre social, habitants et demandeurs d'emploi), EmerJean a pour mission d'identifier ces "interstices" propres au quartier. Comme des services aux habitants (soutien scolaire, retouche couleur, esthétique...), des services aux TPE du quartier (blanchisserie professionnelle,

saisie informatique...) ou des services liés à la transition écologique locale comme la collecte et le compostage de biodéchets, ou la collecte de bouteilles plastiques.

"Chez EmerJean, il n'y a pas de sélection. On inverse la preuve de compétence habituellement imposée aux chômeurs."

Le concept fait fi des freins habituels à l'employabilité : les femmes portant un foulard qui font objet de discriminations importantes, les modes de garde d'enfants très peu présents dans le quartier, les transports publics encore trop peu développés ou encore les très faibles niveaux de qualification... Ici, rien de tout ça ! Bertrand Foucher insiste : "on mobilise les compétences de manière très différentes que dans l'emploi classique, nos employés signent des CDI au SMIC, ils participent à des activités variées et sont forcés de proposer pour en développer d'autres."

Concrétiser un "droit à l'emploi"

Les 10 territoires-test ont jusqu'à 2021 pour faire la preuve de leur solidité. Le projet séduit beaucoup d'autres territoires et une nouvelle loi en préparation devrait étendre l'expérimentation et non pas la généraliser. L'idée étant de ne pas en faire un outil étatique homogène, mais bien qu'il y ait un droit d'option pour les zones où cela se justifie particulièrement. ZTLC illustre la concrétisation d'un projet sociétal de droit à l'emploi pour tous.



Hafida, Amélie et Salima, salariées d'EmerJean racontent avec le même entrain la confiance en soi retrouvée, le réenchâtement des liens sociaux entre les habitants du quartier et le plaisir de participer à une telle aventure.



Souad est employée d'EmerJean depuis le début de l'aventure. La jeune femme en charge de la formation et du développement des activités nous explique que l'ASVEL Rugby, Les Détritviores ou encore Élise, sont autant d'entreprises locales qui ont passé contrat avec EmerJean pour des services de blanchisserie.

À 63 ans, Mohamed ne peut pas prendre sa retraite "à moins de ne vivre qu'avec 450 euros par mois ! J'ai du mal à comprendre cette injustice dans le système de redistribution et des retraites" assène-t-il, sans lâcher son sourire. Son contrat chez EmerJean lui permet de garder la tête hors de l'eau.



Entourée de Zoulikha et Khadija, Latifa (au centre) est employée depuis un an et demi. "Je n'avais jamais travaillé auparavant, mon voile a toujours été un obstacle à l'embauche. Ici on m'accepte avec. Mes horaires sont flexibles et cela me permet de m'occuper de mes quatre enfants. Vous savez, j'ai trouvé mon bonheur ici !"



À REGARDER → 40

Photoreportage
au sein de
l'entreprise
EmerJean.

» En dehors de l'emploi, la société se construit et s'émancipe aussi. Selon Baptiste Mylondo, le revenu universel accélérerait la prise de conscience que chacun contribue à l'enrichissement collectif. Il permettrait alors aux chômeurs de longue durée "d'échapper à la double injustice qu'ils subissent, à la fois en termes de revenus (faibles) et de positionnement social et symbolique (péjoratif)."

Plusieurs pistes de financement sont étudiées par les partisans du revenu universel, allant du transfert du coût des allocations existantes dans cette unique prestation, à l'augmentation ou la création de nouvelles taxes sur les robots ou les transactions financières, par exemple. "Pourquoi se pose-t-on la question ? interroge Baptiste Mylondo. Partons du principe que nous avons assez : en France, le revenu disponible des ménages par habitant¹ est de 1800 euros par mois !". Ce modèle est-il soutenable ? Y aurait-il assez de monde pour aller travailler ? Qui s'acquittera alors des tâches pénibles ?

Réfléchir aux modalités d'application du revenu universel, c'est aussi se demander quel est le degré de pénibilité que nous sommes en droit d'exiger des autres. La question se pose pour les tâches pénibles comme pour les activités à dimension collective ou indispensable

1 > Revenu dont nous disposons après soustraction des impôts directs et des cotisations sociales.

En dehors de l'emploi, la société se construit et s'émancipe aussi.

(services publics...), que de nombreuses personnes effectuent à la place des autres. À n'en pas douter, un certain nombre de travailleurs du secteur de ramassage des ordures n'acceptera plus de continuer si un revenu inconditionnel leur était versé. Donc qui gèrera ces activités ? Comment

revaloriser socialement et économiquement ces emplois encore précaires ? Baptiste Mylondo affirme que "ceux qui décident de quitter leur travail ne vont pas rien faire. Les vocations existent et continueront

à exister par la suite. Il faut simplement que les conditions de revenu de ces activités s'améliorent considérablement." Le revenu universel pose bien d'autres questions et n'est pas la seule "solution" à la crise du travail telle que nous l'avons décrite plus haut. Les créations d'activités sociales et écologiques nouvelles sont également des opportunités pour sortir du chômage de longue durée et vaincre l'isolement que cette situation peut générer et pour recréer des collectifs. Pour Bertrand Foucher, président d'EmerJean à Villeurbanne : "un revenu universel dont le support est l'emploi me semble être une bonne idée. Dans la mesure où l'activité, le cadre collectif et la solidarité seront les valeurs ajoutées du travail et que disparaîtra la privation volontaire de l'emploi."

RETOUR À LA SOBRIÉTÉ

Gilles Dufrénot est Professeur de sciences économiques à Aix-Marseille Université et membre de l'École d'Économie de Marseille. Dans son ouvrage *Les pauvres vont-ils révolutionner le XXI^e siècle ?* paru en 2018, il met en exergue un paradoxe saisissant. Les moyens de sortir de la pauvreté et d'être plus riche n'ont jamais été aussi forts, pourtant la réalité montre que les différences sont de plus en plus fortes entre les plus puissants et les plus pauvres.



"Le capitalisme dont nous avons hérité produit des polarités, à la fois dans l'excès et dans les insuffisances."

Gilles Dufrénot

Professeur de sciences économiques
à Aix-Marseille Université
et membre de l'École d'Économie de Marseille

Les deux révolutions industrielles du XX^e siècle ont forgé un système de production de masse mondialisé, standardisé, libéral et basé sur une logique de marchés. Les travailleurs se sont toujours inscrits dans cette innovation permanente comme les pierres angulaires du profit marchand.

D'une part, notre modèle économique nous rend capables de produire en surabondance, de concentrer les richesses et de surexploiter les ressources. D'autre part, il fait la part belle aux privations involontaires et à de plus en plus de précarité et d'inégalités. Pour l'économiste, c'est cet équilibre parfois non-soutenable qui produit de l'exclusion sociale et qui est à l'origine de conflits sociaux ou de crises financières. Pour lui, "le système de redistribution du XX^e siècle a maintenu et quelque peu contraint la pauvreté, mais il ne suffit plus." Notre société

de croissance incite à faire en sorte d'augmenter le niveau de vie moyen, mais en considérant les bombes démographiques en devenir (en Asie et en Afrique) nous sommes, pour ce chercheur, face aux limites du système de surproduction et de surconsommation.

Devra-t-on tous devenir pauvres ? Non, mais pour bon nombre de chercheurs et d'intellectuels, nos standards devront être revus à la baisse pour maintenir la planète stable économiquement, socialement et écologiquement. Un nouveau paradigme économique doit voir le jour pour Gilles Dufrénot, auquel il faudra appliquer une certaine dose de sobriété et de frugalité.

POUR ALLER + LOIN : popsociences.universite-lyon.fr/le_mag



À REGARDER → WEB

Du travail pour tous
Documentaire de Marie Monique Robin sur l'expérimentation "Territoire Zéro Chômeur de Longue Durée".



À ÉCOUTER → WEB

Transcender le capitalisme
Interview vidéo de Gilles Dufrénot



À REGARDER → WEB

Face aux IA, faut-il sauver le travail ?
Vidéo du débat PopSciences Forum 2018

OURS

DIRECTION DE LA PUBLICATION : **Khaled Bouabdallah**, Président de l'Université de Lyon

DIRECTION DE LA RÉDACTION : **Florence Belaën**, Directrice Culture, Sciences et Société - Université de Lyon

COMITÉ DE RÉDACTION

RÉDACTION EN CHEF : **Samuel Belaud**, chef de projet et de développement Pop'Sciences - Université de Lyon

RÉDACTEURS JOURNALISTES : **Ludovic Viévard, Benoît de La Fonchais, Grégory Fléchet, Fabien Franco, Samuel Belaud**

SECRÉTARIAT DE RÉDACTION ET ÉDITION : **Benoît de La Fonchais**, Oxymore Conseil,
Patricia Lamy, responsable éditoriale du site Pop'Sciences - Université de Lyon

COMITÉ SCIENTIFIQUE

Pierre Cornu, Professeur d'histoire contemporaine à l'Université Lumière Lyon 2
et membre du Laboratoire d'études rurales de Lyon

Amélie Cordier, Directrice scientifique de la société Hoomano
et Maîtresse de conférences en intelligence artificielle à l'Université Claude Bernard Lyon 1

Agnès Gahigi, Directrice Générale Adjointe en charge des Investissements d'Avenir à l'Université de Lyon

François Pellegrino, coordinateur scientifique des actions IDEXLYON
et Directeur de recherche au laboratoire Dynamiques du langage de Lyon

DIRECTION ARTISTIQUE

PHOTOGRAPHIES ET VIDÉOS : **Magdalena Nin, Antoine Ligier - Visée.A**

CRÉATION GRAPHIQUE ET MAQUETTE : **Agence de communication Cultivescence**

PARTENAIRES INSTITUTIONNELS

Région Auvergne-Rhône-Alpes, Métropole de Lyon

REMERCIEMENTS à la plateforme 3d.FAB, l'équipe Dycog du Centre de recherche en neurosciences de Lyon, le Laboratoire d'Etudes Rurales, l'Isara, l'association Les greniers d'abondance, l'Observatoire de Lyon, le LabEx LIO, le Laboratoire de géologie de Lyon, le laboratoire Environnement-Ville-Société, le Giec, la société Emerjean et l'association Territoires Zéro chômeurs de longue durée ; et aux chercheurs, aux bénévoles, aux militants, aux personnels, d'avoir ouvert leur portes à la rédaction de Pop'Sciences Mag, d'avoir répondu à nos questions et participé à la réussite de ce numéro.



POP'
SCIENCES
UNIVERSITÉ DE LYON

RETROUVEZ TOUTE L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LYON SUR LE PORTAIL NUMÉRIQUE POP'SCIENCES !

popsciences.universite-lyon.fr

P comme **Partager les savoirs**
O comme **Ouvrir les campus**
P comme **Produire de la connaissance avec et pour les citoyens...**

Tel est le leitmotiv de Pop'Sciences qui a tout simplement pour objectif de répondre à tous ceux qui ont soif de savoirs, de rencontres, d'expériences, de sons et d'images en lien avec les sciences et les techniques.

Ce portail, conçu et animé par l'Université de Lyon, l'ensemble de ses membres et ses partenaires privilégiés, a quatre fonctions : **un agenda** des activités de culture scientifique et technique dans le territoire de la Métropole de Lyon et du Rhône, **une banque de ressources multimédia** pour tous les thèmes questionnant les sciences et les techniques, **un catalogue des offres et des ressources pédagogiques** pour les scolaires proposés sur notre territoire et **une visibilité sur les collections patrimoniales des universités.**

Au travers du site internet, des productions médiatiques et de nombreux événements tout au long de l'année, Pop'Sciences invite à repenser la place des savoirs produits par nos chercheurs dans une société où le numérique a non seulement accéléré la circulation des savoirs, mais également a pu jeter le trouble entre des savoirs travaillés et des croyances, de l'expertise et des rumeurs.

