Progressistes

Science Travail & Environnement

N° 41 JUILLET-AOÛT-SEPTEMBRE 2023

DOSSIER

ESPACE DÉFENSE ET CYBER

QUELLE SOUVERAINETÉ ?

ZOOM

SUR LES PRIX NOBEL SCIENTIFIQUES

par Jean-Claude Lagron

SCIENCE

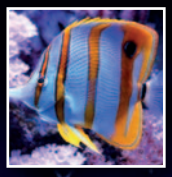
LE CLASSEMENT DE SHANGHAI : UN MARCHÉ DE DUPES

par Collectif d'universitaires

TRAVAIL

LE FAUX DÉBAT DU TECHNOSOLUTIONNISME

par Sylvestre Huet



ENVIRONNEMENT

EXPLOITER OU PROTÉGER LES GRANDS FONDS MARINS ? LE RÔLE DE L'ONU par Chloé Maurel

Tarif standard : 8€ • Tarif étudiant, chômeur, faibles revenus : 6€ • Étranger : 10 €

ÉDITO **L'urgence climatique, la science et la démocratie** Anne Barbagelata 3
ZOOM **Le Nobel et le chaudronnier** Jean-Claude Lagron 6

DOSSIER **ESPACE, DÉFENSE ET CYBER, QUELLE SOUVERAINETÉ ?** 12
ÉDITO **Aux confins de l'espace physique et de la matrice informationnelle : une immersion dans le cyberespace** Sylvain Delaitre 13
Redonner pleine vie à un concept Jean-Jacques Desvignes 14
Défense et souveraineté Nicolas Devers-Dreyfus 17
Cybersécurité : enjeux, protagonistes et résilience Bruno Charrat 19
Cybercloud et défense nationale : focus sur les composants Sylvain Delaitre 22
Une guerre de l'espace par l'exemple de l'attaque de Ka-Sat Flavien Ronteix--Jacquet 24
Construire une alternative aux GAFAM et autres en France et en Europe Sylvain Delaitre 26
Les lanceurs de satellites, outils de notre souveraineté Pierre Giacomini 28
Rivalités guerrières dans l'espace Nicolas Devers-Dreyfus 30
Notions et étapes clés du numérique et du cyberespace Sylvain Delaitre 33

JEUX ÉCHECS **Le champion du monde du bon sens : Emanuel Lasker** Taylan Coskun 35
BRÈVES 36
LIVRES 38

TRAVAIL - ENTREPRISE - INDUSTRIE
ÉCONOMIE BAS CARBONE **Le faux débat du technosolutionnisme** Sylvestre Huet 40

SCIENCE ET TECHNOLOGIE
UNIVERSITÉS **Le classement de Shanghai : un marché de dupes** Pierre Salvadori, Lukas Tsiptsios, Victor Burgard, Antoinette Molinié, Mario Ranieri Martinotti, Geoffrey Bodenhausen 44
ÉNERGIE **Quelles perspectives pour la production d'énergie à partir de biomasse ?** Bruno Chaudret, Mehrdji Hémati 47
CHIMIE **Biomasse, quel avenir pour l'industrie chimique ?** Hélène Olivier-Bourbigou 51
PÉTITION **Appel aux chercheurs et enseignants concernant la formation des fonctionnaires publics** 55

ENVIRONNEMENT & SOCIÉTÉ
PLANÈTE **Exploiter ou protéger les grands fonds marins ? Le rôle de l'ONU** Chloé Maurel 56
EAU **La sécheresse dans le Roussillon** Nicolas Garcia 60

HOMMAGE **Marcel Boiteux, un grand défenseur des services publics** 63
LES SCIENCES ET LES TECHNIQUES AU FÉMININ
Mileva Marić Claude Frasson 64

Progressistes Tél. 01 40 40 13 41 • Directeur honoraire : † Jean-Pierre Kahane • Directeur de la publication : Jean-François Bolzinger • Directrice de la rédaction : Anne Barbagelata • Directrice éditoriale : Marie-Claire Cailletaud • Directeur scientifique : Ivan Lavallée • Directeur de la diffusion : Alain Tournebise Rédacteur en chef : Amar Bellal • Rédactrices et rédacteurs en chef adjoints : Clément Chabanne, Fanny Chartier, Sébastien Elka, Clémence Grandlarge, Hélène Lepont, Anne Manauthon • Rubrique Science : Anna Grandlarge, Arnaud Vaillant • Rubrique Travail : Léa Bruido, Clément Chabanne • Rubrique Environnement : Jean-Claude Cheinet • Brèves et livres : Yvon Huet • Jeux et stratégies : Taylan Coskun • Rédacteur-réviseur : Jaime Prat-Corona • Comité de rédaction : Jean-Noël Aqua, Geoffrey Bodenhausen, Jean-Claude Cauvin, Bruno Chaudret, Marie-Françoise Courel, Simon Descargues, Marion Fontaine, Claude Frasson, Clémence Grandlarge, Michel Limousin, George Matti, Simone Mazauric, Evariste Sanchez-Palencia, Pierre Serra, Peppino Terpolilli, Françoise Varouchas • Informatique : Joris Castiglione • Conception graphique et maquette : Frédéric Coyère • Experts associés : Luc Foulquier, Gilles Cohen-Tanoudji • Édité par : l'association Paul-Langevin (6, avenue Mathurin-Moreau 75167 Paris Cedex 19) • N° CPPAP : 1024 G 93175 • N° ISSN : 2606-5479 • Imprimeur : Public imprim (12, rue Pierre-Timbaud, BP 553, 69637 Vénissieux Cedex).
Conseil de rédaction : Président : Ivan Lavallée • Membres : Hervé Bramy, Marc Brynhole, Bruno Chaudret, Xavier Compain, Yves Dimicoli, Jean-Luc Gibelin, Valérie Gonçalvès, Jacky Hénin, Marie-José Kotlicki, Nicolas Marchand, Anne Mesliand, Alain Obadia, Marine Roussillon, Francis Wurtz, Igor Zamichiei.

NOUVEAU ! PLUS SIMPLE, PLUS RAPIDE
paiement en ligne sur revue-progressistes.org
Abonnement 4 numéros par an !

ANNE BARBAGELATA
DIRECTRICE
DE LA RÉDACTION
DE *PROGRESSISTES*

L'urgence climatique, la science et la démocratie

Comme le dit le GIEC dans son 6e rapport, publié le 20 mars 2023, la décennie 2011-2020 est la plus chaude qu'ait connue la Terre depuis 125 000 ans, et cela est principalement dû aux activités humaines.

Les effets du réchauffement climatique sur l'ensemble de la planète sont indéniablement là, meurtriers, dévastateurs. Des images médiatiques l'attestent, et on a pu le vivre sur nos territoires…

Au mois d'octobre, l'ONU aussi nous a alertés : « *Le changement climatique menace d'anéantir des décennies de progrès vers une meilleure santé et un meilleur bien être, en particulier dans les communautés les plus vulnérables.* »

Il ne fait donc plus de doute que l'urgence climatique nous impose de réagir rapidement et efficacement contre ce changement pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050 et tenter ainsi de limiter à 1,5 °C le réchauffement global par rapport à l'ère préindustrielle.

C'est tout le sens du plan climat « Empreinte 2050 » élaboré par la revue *Progressistes* avec les contributions de militants communistes œuvrant dans le monde scientifique. Ce plan, présenté le 6 novembre à Paris, ouvre des perspectives qui ne s'inscrivent pas dans les logiques du capitalisme. Il propose de réduire immédiatement, massivement et durablement les émissions de gaz à effet de serre, et donc, aussi, de nous émanciper de l'utilisation des énergies fossiles dans les trois prochaines décennies. Les scientifiques pensent que c'est encore possible, bien que nos chances d'y parvenir s'amenuisent dangereusement au fil des atermoiements des uns et des autres.

Comme notre revue le préconise depuis dix ans, il est urgent de repenser le triptyque science, expertise et politique ; c'est ce qu'a fait plus récemment « L'appel des Houches », qui a rassemblé des scientifiques de toutes disciplines, des experts, des responsables politiques, des journalistes et des militants associatifs. Nous devons relever le défi démocratique et scientifique imposé par les enjeux du climat et de l'énergie.

Pour nous passer des énergies fossiles, nous avons besoin de mettre les progrès scientifiques, la formation scientifique et technique, l'investissement financier public et privé au cœur d'une indispensable transformation de la société. Nous devons modifier nos modes de production, notre façon de consommer, nos déplacements, et faire de ces évolutions des outils de justice sociale, car les applications du progrès scientifique ne vaudront que si leurs fruits sont partagés par tous.

Ce changement de société peut et doit se faire en faveur des plus modestes, et donc en gommant les inégalités, en améliorant le monde du travail et en éradiquant les rapports délétères du « marché du travail ». Ce changement de société doit se faire dans le cadre d'une coopération internationale, tout d'abord par solidarité, mais aussi parce que les émissions de gaz à effet de serre ne connaissent pas les frontières.

Mettre en place des mesures à la hauteur des enjeux climatiques ne pourra se faire que dans une société progressiste, grâce à une politique d'investissement très massive et franche de la part de l'État, des États.

Une telle transition demande ainsi d'investir non seulement dans les infrastructures, mais aussi dans la formation, dans une culture scientifique pour tous. Aussi la filière scientifique doit-elle redevenir attrayante et, du technicien au bac + 5, l'État doit se donner les moyens de former la jeunesse en augmentant le nombre de places à l'université, en permettant à tous les étudiants de mener à bien leurs études.

Pour cela, il faut lutter contre le poids des stéréotypes qui conduisent les filles à s'autocensurer, lutter en mettant en avant la contribution des femmes à la recherche scientifique et au progrès et en permettant à nos élèves de faire des choix d'orientation moins conditionnés et déterminés par leur genre comme par leur milieu socioéconomique. On ne peut pas se satisfaire d'un monde où, d'après l'UNESCO, moins de 30 % des personnes qui se consacrent à la recherche sont des femmes. Et, plus généralement, chacun de nous doit pouvoir exercer son droit à une formation citoyenne scientifique tout au long de sa vie pour pouvoir décider, démocratiquement, en connaissance de cause, des choix que la société doit faire.

Oui, la lutte contre le réchauffement sera scientifique, démocratique, sociale… et mondiale. En démontrant la possibilité d'un lien direct entre épanouissement personnel et réponse à l'urgence climatique, notre projet politique, fondé sur le savoir émancipateur, est plus à même de convaincre et de mobiliser pour que les actes desquels dépend notre survie même soient enfin mis en œuvre. ■

Télécharger le plan climat du PCF sur revue-progressistes.org.

COMMANDEZ LES ANCIENS NUMÉROS DE PROGRESSISTES

CONTACTEZ-NOUS AU 01 40 40 13 41 • revue.progressistes@gmail.com

15 € les 3 numéros (+ frais de port) • **40 € les 10 numéros** (+frais de port)

N° 40 DROITS ET POUVOIRS DANS L'ENTREPRISE

Quelles que soient les évolutions ou révolutions provoquées par l'innovation technologique, telles que ladite intelligence artificielle, c'est au niveau de l'entreprise que les conditions du débat et de la vie démocratique peuvent être imaginées pour redonner un sens constructif et épanouissant à la notion de travail. Ce numéro y consacre son dossier. Suivent en miroir trois domaines : l'énergie nucléaire, les semi-conducteurs dans l'économie mondiale et la gestion de l'eau, qui exigent la participation et le contrôle tant des travailleurs impliqués que des collectivités publiques impactées.

N° 39 L'AGRICULTURE PAR CEUX QUI LA FONT

L'état de l'agriculture française inquiète ses acteurs, mais aussi les citoyens qui en dépendent. Au menu, trois éclairages : à partir de témoignages des effets de la pression du marché mondialisé sur l'activité ; à partir des analyses de l'accaparement des terres par les financiers justifiant la réactivation de l'agriculture familiale et coopérative ; enfin, à partir de la transition écologique de l'agriculture s'appuyant sur des travaux scientifiques et techniques avec, entre autres, un article sur l'agriculture biologique.

N° 38 PRÉSERVER ET PARTAGER LA FORÊT

En 2022, les faits ont confirmé le changement climatique et son origine anthropique. Des événements inédits frappent la planète, et la France n'y échappe pas. Il est urgent de diminuer les émissions de gaz à effet de serre de manière considérable et rapide pour y répondre. Il faut entre autres stopper la déforestation – tout en favorisant les usages du bois – et l'artificialisation des sols, car les arbres et les sols sont des puits de carbone efficaces. Le dossier que nous présentons est traversé par cette urgence.

N° 37 TRAIN : SUR LES RAILS DE L'ÉCOLOGIE ET DU SOCIAL

La crise climatique comme la crise énergétique replacent le transport ferroviaire au cœur des enjeux contemporains. Ce dossier propose différentes contributions pour le développement d'un grand service public du transport ferroviaire moderne et adapté aux besoins de notre temps. Vous trouverez également un article sur la gestion des universités, un autre sur les enjeux de la biodiversité autour de la chasse... et aussi un entretien inédit avec Sébastien Ménesplier, secrétaire de la CGT Énergie.

N° 36 NUCLÉAIRE, FAITS ET CONTROVERSES

Le nucléaire est une source d'énergie incontournable pour répondre à nos besoins et pour réduire le réchauffement du climat. Mais cette énergie est aussi source de nombreuses controverses sur diverses thématiques que ce dossier se propose d'affronter : déchets, sûreté, avenir de la filière, consommation d'eau, etc. Vous retrouverez également un dossier de trois articles sur la voiture électrique ainsi que des contributions sur le marché du gaz et le génome humain.

N° 34-35 CLIMAT, ENTRE ADAPTATION ET ATTÉNUATION

Des rapports du GIEC aux COP successives, les enjeux climatiques se rappellent régulièrement à nous dans l'actualité. Quels sont les enjeux pour atténuer les effets du changement climatique ? Autrement dit, quels moyens pour lutter contre la catastrophe planétaire qui nous menace et décarboner rapidement nos économies ? Le numéro aborde également l'énergie au niveau européen, l'urgence d'un pôle public du médicament et aussi plusieurs contributions sur des filières industrielles telles l'électricité (EDF), l'automobile (Renault) ou l'aérospatial (ONERA).

N° 33 QUE JEUNESSE SE VIVE !

Notre jeunesse est touchée au plus fort par les impasses de l'organisation actuelle la société. Traitant de la mobilité au sexisme, en passant par l'emploi, la formation et l'industrie, ce dossier défend la thèse qu'il est possible d'en sortir en s'appuyant sur les aspirations de la jeunesse et sur le développement des sciences et des techniques. Vous trouverez également des contributions sur les enjeux de sécurité du parc nucléaire français, sur la gauche et le rationalisme ou encore sur le chlordécone.

N° 32 EXPERTISE SCIENTIFIQUE & DÉCISIONS POLITIQUES

Les relations entre science et politique sont multiples et posent des enjeux démocratiques cruciaux, notamment à l'heure de la pandémie de covid-19. Le dossier propose des contributions pour interroger ces liens et poser les bases de débats scientifiques pleinement éclairés par le corps social. Vous trouverez également des contributions sur l'industrie aérospatiale chinoise, les enjeux industriels des microprocesseurs ou encore sur le télétravail et la sûreté alimentaire.

Tous les numéros sont téléchargeables gratuitement sur

revue-progressistes.org et sur **facebook revueprogressistes**

BULLETINS D'ABONNEMENT À Progressistes

Science Travail & Environnement

RÈGLEMENT PAR CHÈQUE BANCAIRE OU POSTAL (À L'ORDRE DE ASSOCIATION PAUL LANGEVIN. REMPLIR BULLETIN CI-DESSOUS).

Durée 1 an / 4 numéros

BULLETIN D'ABONNEMENT ANNUEL

❏ Je règle par chèque bancaire ou postal (France uniquement) à l'ordre de « association Paul Langevin »

❏ Standard : 32 € ❏ Chômeurs/étudiants : 24 € ❏ Souscription : 50 € ❏ Étranger : 40 €

Bulletin à retourner à : ASSOCIATION PAUL LANGEVIN - 6, AVENUE MATHURIN-MOREAU 75167 PARIS CEDEX 19

Tél. : 01 40 40 13 41 • Mail : revue.progressistes@gmail.com

[À ENVOYER À L'ADRESSE CI-DESSUS]

Nom & prénom .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....

Adresse électronique ..... Mobile(*) .....

(*) informations utilisées uniquement dans le cadre de l'abonnement

Date : ..... Signature :

Progressistes

Science Travail & Environnement

RÈGLEMENT PAR PRÉLÈVEMENT AUTOMATIQUE (REMPLIR FORMULAIRE CI-DESSOUS).

BULLETIN D'ABONNEMENT PAR PRÉLÈVEMENT AUTOMATIQUE (2 fois/an)

JOINDRE UN RIB

❏ Standard : 32 € ❏ Chômeurs/étudiants : 24 € ❏ Souscription : 50 €

NOM, PRÉNOM ET ADRESSE DU DÉBITEUR

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

CP : ..... Ville : ..... Pays :

DÉSIGNATION DU COMPTE À DÉBITER

IBAN-Numéro d´identification international du compte bancaire

BIC-Code international d´identification de votre banque

TYPE DE PAIEMENT récurrent/répétitif ☒ Vous pouvez vous désabonner en envoyant un mail

CRÉANCIER : ASSOCIATION PAUL LANGEVIN - ICS : FR23ZZZ530622 - 6, avenue Mathurin-Moreau, 75167 Paris cedex 19

MANDAT DE PRÉLÈVEMENT SEPA

ASSOCIATION PAUL-LANGEVIN

Référence unique du mandat (réservé à l'administration)

En signant ce formulaire vous autorisez l'ASSOCIATION PAUL LANGEVIN à envoyer des instructions à votre banque pour débiter votre compte, et votre banque à débiter votre compte conformément aux instructions de l'ASSOCIATION PAUL LANGEVIN. Vous bénéficiez du droit d´être remboursé par votre banque selon les conditions décrites dans la convention que vous avez passée avec elle. Une demande de remboursement doit être présentée dans les 8 semaines suivant la date de débit de votre compte pour un prélèvement autorisé.

Fait à : ..... Le ..... Signature :

Bulletin à retourner à : ASSOCIATION PAUL LANGEVIN - 6, AVENUE MATHURIN-MOREAU 75167 PARIS

Les informations contenues dans le présent mandat, qui doit être complété, sont destinées à n´être utilisées par le créancier que pour la gestion de sa relation avec son client. Elles pourront donner lieu à l´exercice, par ce dernier, de ses droits d´oppositions, d´accès et de rectification tels que prévus aux articles 38 et suivants de la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l´informatique, aux fichiers et aux libertés.

LE NOBEL ET LE CHAUDRONNIER

Chaque année, les pays riches se félicitent de l'attribution à un des leurs d'un des prix Nobel scientifiques. La France y tient une place très honorable. Pour comprendre les facteurs qui y conduisent, par-delà le mérite personnel des lauréats, c'est tout le fonctionnement économique, social et culturel des nations qu'il faut prendre en compte.

PAR JEAN-CLAUDE LAGRON*

Depuis 1901, date de création du prix Nobel qui en 1903 récompensa pour la première fois des Français, Pierre et Marie Curie et Henri Becquerel, les conditions d'exercice des activités scientifiques se sont radicalement transformées.

Aujourd'hui, le caractère personnel de ces distinctions pourrait laisser penser qu'elles couronnent quelques cerveaux éclairés. C'est partiellement vrai, car les idées nouvelles proviennent de personnes très engagées dans une discipline, mais c'est aussi une vision très éloignée de la réalité du travail scientifique. Par-delà le mérite des heureux récipiendaires, la fertilité du travail de recherche effectué dans les laboratoires est le fait de collectifs de travailleurs – de ces laboratoires ou extérieurs – aux spécialités très diverses qui mettent en commun leurs savoirs et leurs savoir-faire. Le plus grand mérite d'un Prix Nobel est peut-être d'avoir été capable de s'appuyer sur les connaissances disponibles pour les porter plus loin.

LA MONDIALISATION DE LA PRODUCTION DES SAVOIRS

En arrière-plan de ces récompenses, il y a aussi des coopérations internationales. Bien que très déséquilibrées, celles-ci sont bien réelles. Cependant, 95 % des femmes et des hommes nobélisés proviennent des pays riches. Or l'activité de recherche dans le monde est bien plus répandue que ne le laisse croire cette apparente suprématie essentiellement occidentale. Au prix d'un pillage des meilleurs éléments des pays moins développés, une grande partie du travail scientifique dans les pays les plus riches est le fruit d'équipes de recherches composées d'acteurs venus d'autres pays. Or les postulants au Nobel sont tous des autochtones. Cette omnipotence occidentale tend à effacer l'apport bien réel des scientifiques d'autres pays ; elle montre aussi combien l'environnement dans lequel s'exerce chaque activité humaine joue un rôle majeur.

Les publications scientifiques reflètent partiellement cette mondialisation de la recherche ; tout comme les distinctions scientifiques, elles sont les fruits d'échanges et de coopérations mondiales permanentes. Tous les pays ne sont cependant pas à égalité, car la disparité des moyens qui sont consacrés à la recherche est considérable, notamment dans les disciplines faisant appel à une instrumentation de plus en plus sophistiquée et de plus en plus coûteuse.

La situation politique internationale influence considérablement ces coopérations. Les guerres, les tensions provoquées par les volontés hégémoniques des plus puissants, la militarisation de la recherche et des économies pèsent très négativement sur les dynamiques de recherche. Ces tensions renforcent la suprématie des pays dominants.

Le plus grand mérite d'un Nobel est d'avoir été capable de s'appuyer sur les connaissances disponibles pour les porter plus loin.

Le Nobel (il n'est pas le seul) véhicule – à son corps défendant – une image presque irréelle de ce qu'est le mouvement des savoirs, de ses moteurs, des défis qu'il relève constamment.

Alors que l'accès et le partage des savoirs sont des enjeux majeurs de société, ils en sont fréquemment isolés. Cela donne un caractère élitiste à la recherche en ce sens qu'elle se développerait indépendamment de la société. Rien n'est plus faux. Cet isolement répand auprès de ceux qui sont de plus en plus éloignés de la diffusion des savoirs des sentiments de défiance et de crainte, et cela peut aller jusqu'au rejet, voire à l'irrationalisme, en raison des effets possibles ou supposés de ces évolutions.

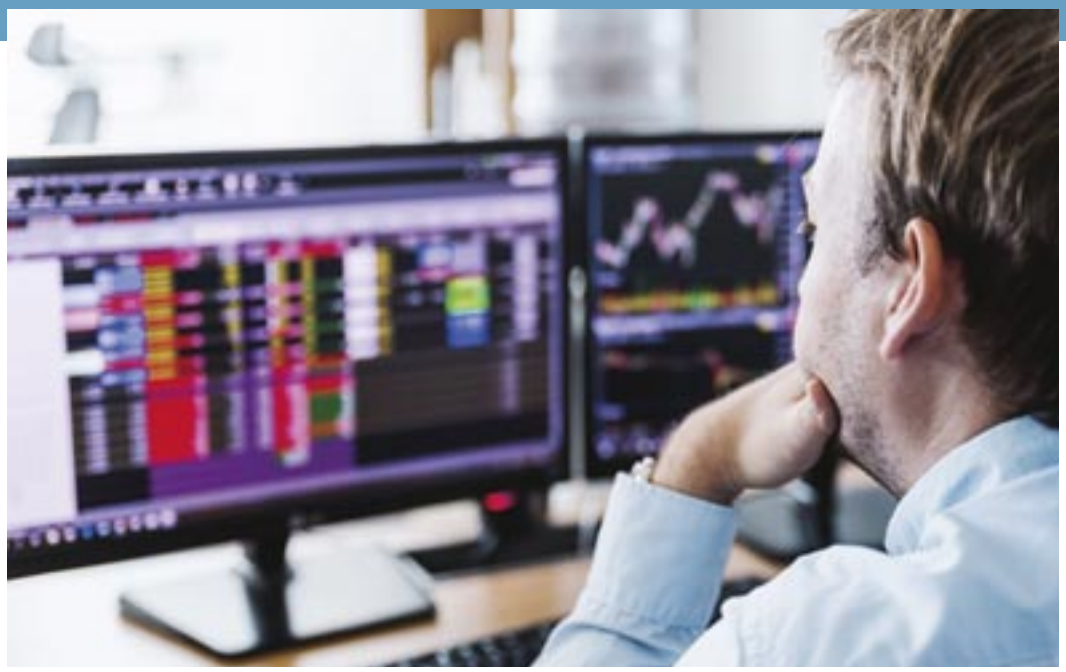
N'oublions pas que, pour répondre à la dictature des marchés financiers, la désindustrialisation et les vagues de licenciements qui l'ont suivie ont été justifiées par l'inéluctabilité de la mise en œuvre des nouvelles technologies, elles-mêmes fruits supposés du mouvement des connaissances. Or les choix qui sont faits dans ces domaines ne sont pas neutres. Ils sont profondément marqués par les dogmes libéraux et ont des conséquences sociales et humaines très importantes. Il n'y a aucune fatalité à ce qu'il en soit ainsi.

L'ENVIRONNEMENT IDÉOLOGIQUE ACTUEL

Depuis quelques années, un des gadgets idéologiques pour justifier les choix et l'organisation de la recherche est l'excellence. Or cette excellence est à la recherche ce que le CAC 40 est à l'économie réelle : une dramatique supercherie.

Concurrence et individualisation sont des non-sens devant l'exigence grandissante de coopérations.

Cette course folle et absurde vers le podium et les sources de financement qui lui sont affectées n'a d'autres objectifs que de vassaliser les programmes de recherche et leurs acteurs, de réduire certaines activités ne rentrant pas dans les dogmes



Le critère d'« excellence » comme outil d'évaluation pour allouer des financements est à la recherche ce que le CAC 40 est à l'économie réelle : une dramatique supercherie.

du moment, de pousser à la concurrence et à l'individualisation. Concurrence et individualisation sont des non-sens devant l'exigence grandissante de coopérations.

Pour trier les vainqueurs éphémères, des centaines, voire des milliers de bureaucrates sont chargés d'établir au nom de l'excellence des courbes de performances entre pays, entre organismes, entre laboratoires, entre individus, et ce à partir de critères ubuesques. Cela n'a d'excellent que la soumission aux critères établis en d'autres lieux et non à dynamiser la recherche réelle. Cette « excellence » consiste à désigner le meilleur d'une classe, qui certes a bien appris le mode d'emploi, tout en masquant les atouts et les difficultés du reste de la classe.

La recherche est un processus complexe, faisant appel à des travailleurs d'horizons divers et aux multiples savoirs et savoir-faire. Toutes les activités humaines sont de plus en plus interdépendantes. Elles le sont particulièrement dans le mouvement des connaissances. Les activités de recherche dépendent pour une part importante de l'environnement dans lequel elles se déploient, de la pertinence des outils à leur disposition et des hommes qui les mettent en œuvre.

Pourtant, les conditions d'exercice de ces activités peuvent laisser penser le contraire. Ainsi, par exemple, comment un chaudronnier perçoit-il son travail par rapport à un prestigieux Prix Nobel de physique ? Mais aussi, comment un chercheur perçoit-il son travail par rapport aux technologies et aux métiers qui lui permettent de l'exercer ? Pour le moins, la vision de cette interdépendance n'est pas toujours perçue à sa juste importance.

COMPRENDRE LE PRÉSENT

Pour éclairer le sujet, un petit détour historique est utile. Quand, dans les années 1950, la France a décidé de développer sa recherche, le tissu industriel national a été un précieux contributeur à cette ambition. C'est ainsi que, par exemple, pour construire les nouveaux grands instruments nécessaires aux développements des recherches sur la matière, Frédéric et Irène Joliot-Curie – tous deux prix Nobel de physique 1935 et fondateurs de l'université d'Orsay ; lui fut en outre haut-commissaire à l'énergie atomique – ont créé un cadre attractif pour le recrutement de personnels techniques hautement qualifiés regroupant des corps de métiers directement issus de l'industrie qui manquaient jusqu'alors au CNRS. Il en a été de même au CEA.

C'était l'époque où la France avait encore des atouts industriels et des ambitions pour son avenir. Par la suite, en lien avec le développement des laboratoires et de leurs besoins, ces corps techniques ont à leur tour contribué à la création de nombreuses entreprises dans les technologies les plus avancées. Ce n'est pas un hasard si l'industrie et la recherche allemandes restent prédominantes en Europe. L'Allemagne a globalement moins sombré dans les délocalisations et dans la désindustrialisation. De fait, son effort national pour la recherche est supérieur à celui de la France : respectivement 2,82 % et 2,26 % du PIB. La faiblesse de financement de la recherche fondamentale et industrielle de notre pays est allée, on peut le constater, de pair avec sa désindustrialisation.

Le Nobel (il n'est pas le seul) véhicule – à son corps défendant – une image presque irréelle de ce qu'est le mouvement des savoirs, de ses moteurs, des défis qu'il relève constamment.

Dans les métiers techniques, les effets des politiques à courte vue menées depuis cinquante ans, privilégiant notamment la finance (et ses cupides besoins), ont fait des ravages dans de nombreux domaines. Les métiers les plus utiles à la société sont en déshérence ou très dévalorisés. Certaines rares filières industrielles échappent à la règle, comme l'armement, l'aéronautique ou le nucléaire. Mais, même dans ces filières, la pénurie de professionnels qualifiés se fait de plus en plus ressentir ; elles pâtissent de l'appauvrissement généralisé du tissu industriel national. On le constate actuellement avec les difficultés que rencontre la filière nucléaire pour recruter des personnels qualifiés dans de nombreuses spécialités.

Les métiers les plus utiles à la société sont en déshérence ou très dévalorisés. Certaines rares filières industrielles échappent à la règle comme l'armement, l'aéronautique ou le nucléaire.

La situation dramatique dans la santé jette un éclairage cru sur cette réalité, mais on pourrait aussi y ajouter d'autres secteurs clés dans les services publics, ou même ceux publics et privés liés aux défis environnementaux, de l'ingénierie et de la maintenance.

UNE CRISE QUI N'EST PAS NOUVELLE

Dans la recherche, le problème n'est pas nouveau. Le déclin des métiers techniques est apparu à la fin des années 1970.

Les premiers symptômes ont suscité de fortes mobilisations des personnels concernés et de leurs syndicats. Le gouvernement de l'époque avait dû engager un plan dit « de revalorisation des professions manuelles ». Il n'a pas été plus loin que de très ▶

vagues intentions, et cela pour trois raisons qui restent d'une brûlante actualité :
– tout d'abord, cette modeste revalorisation s'est faite sans aucun débat sur les causes d'une situation détériorée, des mutations et des besoins à satisfaire ;
– d'autre part, son intitulé montrait parfaitement ses limites. Les mutations technologiques, industrielles ne peuvent être abordées sous le seul angle des professions manuelles. La technologie résulte de métiers avec leurs technicités spécifiques, qui ne se résument pas à des activités manuelles ;
– enfin et surtout, ce plan se situait en plein contexte de désindustrialisation massive de la France (métallurgie, sidérurgie, textile…) et de l'abandon des filières technologiques correspondantes.
En vérité, ledit plan s'est très vite transformé en plan social d'accompagnement du déclin industriel et technologique qui anticipait d'ailleurs un recul de l'effort national de recherche.

PROFESSIONNALISATION OU MANAGEMENT

La disparition de la référence aux métiers pour des appellations génériques traduit un abandon délibéré des professions techniques. Les techniciens ont remplacé les usineurs, les électroniciens, les opticiens, les chaudronniers… Dans l'administration, la situation a son pendant : managers adjoints, attachés de direction, action managériale, ressources humaines (qui n'ont d'humaines que l'appellation), *businessmen* en tout genre, etc., ont remplacé les secrétaires, les comptables…
Les acronymes jouent leur rôle dans l'effacement de l'identification des métiers. Dans la recherche, aujourd'hui vous êtes accompagnant de la recherche. Dans la fonction publique vous êtes de catégorie A, B ou C.
Ce n'est pas qu'une question de rationalité du langage, c'est la disparition de la notion de métier, c'est la traduction d'un recul massif des formations professionnelles tous niveaux confondus, de l'ouvrier à l'ingénieur. C'est tenter de faire oublier des métiers qui n'existeraient plus. Les voies dites « professionnelles » et les métiers correspondants sont devenus des voies par défaut, censées caser les élèves en difficulté scolaire. Les professeurs, les élèves, les salariés vivent douloureusement cette marginalisation organisée.

Résultat d'un abandon des métiers industriels, la France en est réduite à importer à prix fort des professionnels dans la métallurgie : des tuyauteurs, des chaudronniers, des soudeurs.

Dans la fonction publique, les procédures de recrutement concourent elles aussi à brouiller les références à des technicités, c'est-à-dire à des métiers. Un technicien qualifié, possédant donc une qualification, n'est pas interchangeable avec n'importe quel technicien générique. Un métier se définit par un savoir et un savoir-faire spécifiques dans une spécialité, lesquels se sont construits dans l'activité professionnelle dans la durée et dans l'échange avec d'autres, pas seulement dans la même spécialité.
Ce glissement générique fourre-tout traduit surtout le peu d'ambition de notre pays pour les domaines concernés, publics ou industriels.
Aucun métier ne se réduit à l'exécution de tâches manuelles plus ou moins répétitives, figées dans le temps. Un métier évolue en permanence avec la société, en fonction des besoins et des techniques nouvelles. Un métier est l'exercice de compétences acquises par la formation initiale et continue, que chacun enrichit de son expérience personnelle, de ses propres savoirs et savoir-faire acquis dans sa pratique et l'interaction avec les autres. Un métier est un lien social construit par le partage et l'acquisition d'expériences communes, sublimant l'apport de chacun.
Après une bonne formation initiale, la transmission des savoirs et savoir-faire nécessite souvent plusieurs années d'apprentissage dans l'exercice de la spécialité avant que le travailleur atteigne une pleine autonomie professionnelle. L'exercice d'un métier, c'est une part importante de sa propre réalisation.
Dans le contexte général actuel, le développement du télétravail, en réduisant les échanges et les espaces vivants d'activités, risque d'avoir de redoutables conséquences professionnelles, économiques et sociales.

Cette dépendance découle des choix politiques dominants, privilégiant la finance et ses serviteurs. Ce n'est pas de managers que la France a besoin mais de professionnels qualifiés pour répondre aux défis contemporains.

INVESTIR MASSIVEMENT DANS LES MÉTIERS UTILES À LA SOCIÉTÉ

La France souffre terriblement aujourd'hui de ces abandons successifs. C'est à contre-courant de la réalité du travail, qui, à l'inverse, fait appel à des spécialités de plus en plus pointues et diversifiées dans chaque corps de métier.
On ouvre des formations génériques qui, fréquemment, ne correspondent pas ou plus aux besoins. On forme des touche-à-tout, autrement dit de futurs salariés sans spécialité. Certes, une vraie formation professionnelle a un coût… Mais quel est le coût de la dépendance française en la matière ?
Après avoir bradé des branches entières des filières industrielles, actuellement la France importe à prix fort des professionnels aux technicités pointues ; par exemple, dans la métallurgie, des tuyauteurs, des chaudronniers, des soudeurs… Cette dépendance découle des choix politiques dominants, lesquels privilégient la finance et ses serviteurs. Ce n'est pas de managers que la France a besoin mais de professionnels qualifiés pour répondre aux défis contemporains.
Cette déprofessionnalisation provoque une perte de repères

professionnels et sociétaux, une perte de sens du travail. Elle engendre une souffrance au travail par la déqualification ainsi qu'un sentiment d'inutilité.

TECHNOLOGIES ET LABORATOIRES

Hier, la plupart des outils de recherche étaient conçus et fabriqués dans les laboratoires. Aujourd'hui, les besoins en instrumentation des laboratoires sont partiellement satisfaits par l'industrie. Cette externalisation d'une partie du travail technique vers l'industrie correspond à un rapprochement des besoins industriels et des besoins de recherche ainsi qu'à la diversification et à la technicité de l'instrumentation scientifique.

Partant de ces évolutions, au niveau d'une équipe ou d'un laboratoire, l'usage d'un professionnel très pointu n'est pas toujours nécessaire. Une certaine forme de polyvalence peut donc être très utile, à condition que ce ne soit pas au détriment de la maîtrise des technologies mises en œuvre.

En instrumentation scientifique, l'importance de la technologie n'a cessé et ne cesse de grandir. Or, face à ces transferts, la tendance est à croire que les métiers correspondants n'ont plus d'utilité dans les laboratoires. C'est une erreur. Cette vision met la recherche en situation de dépendance vis-à-vis des marchés qui, eux, ont des logiques très différentes de la recherche, ce qui pose la question de la maîtrise des outils. Qui n'a pas la maîtrise des procédés ne détient pas la chaîne des processus. En outre, les technologies les plus avancées ne sont pas toutes en accès libre. Des clauses de secret industriel ou de secret défense limitent les champs de leur diffusion et peuvent ainsi priver la recherche publique fondamentale d'outils qui lui sont essentiels.

Il serait souhaitable d'identifier certains besoins structurants des laboratoires et de fédérer leurs réalisations au plan régional ou national. Ce serait hautement préférable à l'importation d'instruments produits à des milliers de kilomètres des laboratoires, accroissant ainsi la dépendance nationale dans ces domaines.

Il est fondamental d'avoir dans les laboratoires des personnels qualifiés pour maîtriser les outils produits dans l'industrie et aussi pour pouvoir les faire évoluer en fonction des pratiques scientifiques.

ACTEURS OU DÉPENDANTS

Les techniciens et les chercheurs n'ont pas vocation à être des consommateurs dépendants de technologies qui leur sont de plus en plus méconnues.

Qui produit et qui maîtrise les composants ? Quelles incidences pour le tissu industriel français ? Quelles conséquences pour la recherche elle-même ? Telles sont quelques-unes des questions qui mériteraient des réponses sérieuses. D'autant que nombre de technologies avancées sont conçues et expérimentées dans les laboratoires publics avant de leur échapper en entrant dans la sphère industrielle et commerciale.

On pourrait imaginer que des techniciens de laboratoire séjournent en entreprise et que des techniciens d'entreprise séjournent dans un laboratoire afin d'échanger leurs expériences, de concevoir ou de finaliser un projet.

Cela montre l'importance d'avoir dans les laboratoires des personnels qualifiés pour maîtriser les outils produits dans l'industrie et aussi pour pouvoir les faire évoluer en fonction des pratiques scientifiques. Dans les technologies avancées, un produit industriel doit toujours être confronté à l'expérimentation et sans cesse développé en fonction de la pratique. Dans cette interface, les techniciens qualifiés des laboratoires ont un rôle majeur à jouer. Or, aujourd'hui, de très nombreux techniciens passent leur temps à consulter les catalogues spécialisés, à passer des commandes et des marchés, puis à les réceptionner.

Dans le verbiage bureaucratique des ressources dites « humaines », cela s'appelle « polyvalence ». C'est devenu un critère essentiel de promotion. Quelle dévalorisation de compétences ! Quels gâchis pour nos laboratoires ! Quelle démotivation, quel sentiment d'inutilité !

FAIRE RAYONNER LES CAPACITÉS DE CHACUN

Cette situation est préjudiciable à la recherche, à l'innovation, à l'industrie françaises. Elle est préjudiciable à la recherche car les équipes de recherche deviennent des consommatrices dépendantes de produits manufacturés et des parts de marché. Elle est préjudiciable à l'innovation car les instruments les plus novateurs sont conçus dans le cadre des activités et besoins de recherche en évolution permanente. Elle est préjudiciable à l'industrie car c'est dans les liens permanents entre les besoins de la recherche et leur commercialisation par l'industrie que s'élaborent des produits nouveaux.

Sur le plan scientifique, les coopérations entre chercheurs sont très anciennes. Elles ont montré leur pertinence, et de ce fait constituent des repères utiles. Par contre, sur le plan technologique, les coopérations sont récentes et restent très limitées. Pour l'essentiel, elles se situent dans un cadre strictement commercial pour la réalisation d'un produit déterminé. Les freins à des échanges plus approfondis, plus durables, ne sont pas que du côté industriel. Récemment encore, il était peu admis qu'un technicien de laboratoire se rende en entreprise. On pourrait imaginer que des techniciens de laboratoire séjournent en entreprise et que des techniciens d'entreprise séjournent dans un laboratoire afin d'échanger leurs expériences, de concevoir ou de finaliser un projet. Cela aurait l'intérêt de croiser les pratiques de la recherche et celles de la production.

DÉMISSION NATIONALE ET SOUMISSION AUX ACTIONNAIRES

Nombre d'entreprises françaises de haute technologie sont issues de partenariats – le plus souvent non formalisés – avec des laboratoires publics.

Cela dit, force est de constater que dans le domaine de l'instrumentation scientifique la France est de plus en plus dépendante des technologies étrangères, notamment états-uniennes ou allemandes. D'importantes entreprises technologiques françaises, surtout parmi les plus performantes, ont disparu après avoir été cédées à des multinationales plus puissantes.

Certaines grandes entreprises délocalisent leurs activités de recherche vers les pays les plus riches et leurs activités productives vers les pays les plus pauvres. Que reste-t-il en France ? Une bureaucratie financière de serviteurs chargés de gérer des pôles qui n'ont plus aucune connexion entre eux, autrement dit une coquille vide.

En raisonnant profits et dividendes immédiats, une telle aberration affaiblit tout à la fois les potentiels de recherche et les potentiels industriels en détruisant les liens entre eux. Dans ces logiques illogiques, toute référence à l'intérêt national devient un langage totalement abscons. ▶

Les modes de financement de la recherche publique jouent un rôle très négatif. Comme les ressources humaines, ils sont étroitement assujettis aux dogmes en vigueur, ce qui entraîne une stupéfiante et asservissante bureaucratie de pilotage, déresponsabilisant les véritables acteurs.
Les cénacles chargés de ces tâches ne connaissent d'ailleurs ni un laboratoire ni un atelier. Les financements sur projet contraignent les équipes à une vision de court terme. On privilégie l'achat d'un matériel clé en main, immédiatement consommable, au recrutement et à l'activité créatrice d'un professionnel qualifié.

UNE DÉVALORISATION EN ACTES

Depuis quelques années, les phénomènes relatifs à la disparition des métiers technologiques s'élargissent aux emplois scientifiques. Dans l'enseignement, la désertion des formations scientifiques l'atteste.
À cet égard, un cas illustre parfaitement cette situation. Certaines grandes écoles organisent annuellement des forums avec les entreprises. Dans le cas auquel nous faisons allusion, il s'agit du forum annuel d'une des plus prestigieuses grandes écoles à vocation scientifique et technologique de la République. Née de la Révolution française, elle avait pour objectif de donner à la nation les cadres scientifiques et techniques nécessaires à ses nouvelles ambitions. Bon an, mal an, elle a tenu ce rôle pendant deux siècles. Ce forum est un des grands rendez-vous annuels des « chasseurs de têtes ». Or les stands d'entreprises y sont dorénavant essentiellement ceux des banques, des institutions financières françaises et internationales. Et pour cause ! Les cursus de cette école ont progressivement délaissé les enseignements technologiques et scientifiques au profit des formations managériales et financières.
Après une petite étude comparative, les salaires et les perspectives de carrière proposés dans ces domaines ont peu de chose à voir avec ceux de la recherche ou de l'industrie. Du point de vue de l'intérêt national, c'est une vraie forfaiture.
Et pourtant, de quoi avons-nous réellement besoin ? De professionnels de santé, d'enseignants eux-mêmes formés pour transmettre les savoirs et savoir-faire, de personnels qualifiés pour répondre aux énormes défis sur l'avenir de l'humanité, dans de nombreux domaines et à tous niveaux. Les défis sociaux, climatiques et environnementaux posent des questions nouvelles et ouvrent d'immenses champs d'action à l'industrie et à la recherche. Allons-nous relever ces défis ou poursuivre dans la voie de l'impuissance collective ?
Nobel et chaudronnier ont certes des activités singulières mais, au fond, hautement utiles et complémentaires. Hasardons-nous à proposer quelques pistes d'actions.

Revoir de fond en comble les formations initiales technologiques et professionnelles.

CHANGER LE COURS DES CHOSES

Une prise de conscience de la situation actuelle, de ses causes et des gâchis qu'elle produit est un point de départ incontournable. Les difficultés rencontrées dans l'exercice des métiers respectifs ont des origines communes, les réponses doivent être recherchées dans une réflexion d'ensemble sur leurs activités.
À partir du regard ainsi porté sur les activités techniques dans nos laboratoires, il découle, presque naturellement, deux idées majeures étroitement liées : réindustrialiser la France, revoir de fond en comble les enseignements professionnels et technologiques. Ces enjeux ne sont pas indépendants du mouvement des savoirs, et donc de la recherche.

Pour répondre aux grands défis contemporains, il faut réindustrialiser notre pays, notamment dans les domaines industriels stratégiques de l'énergie et des transports.

Réindustrialiser la France

Pour répondre aux grands défis contemporains, il faut réindustrialiser notre pays, notamment dans les domaines industriels stratégiques de l'énergie et des transports. Ces domaines font appel à une multitude de métiers aux techniques de plus en plus poussées. Dans ce cadre, les liens recherche-innovation-industrie seraient considérablement dynamisés. Si l'un des acteurs est défaillant, la pertinence de chacune des composantes est réduite.
Alors que les activités humaines sont de plus en plus interdépendantes et appellent des coopérations, que veut dire réindustrialiser la France ? Interdépendance ne signifie pas démission. Pour coopérer, il faut exister. La France doit se donner les moyens de maîtriser, de concevoir et de produire ce qui lui est nécessaire, en mutualisant ces moyens dans le cadre de coopérations réciproquement utiles. Elle ne peut répondre seule à ses besoins et aux défis planétaires qui les conditionnent, elle le pourra de moins en moins.
L'interdépendance, c'est l'inverse de la subordination au capitalisme mondialisé.
L'effort national de recherche est significativement déterminé par les ambitions industrielles, lesquelles sont à leur tour conditionnées par l'effort de recherche et de développement dans la longue durée. Peut-on innover dans un désert industriel ? Peut-on développer la recherche sans être en capacité de concevoir et de maîtriser les outils qui lui sont nécessaires ?
Il faut réindustrialiser la France pour créer des partenariats nouveaux entre les pratiques de recherche et les pratiques productives, entre les métiers de la recherche et les métiers de l'industrie. Il convient de faire partager cette ambition bien au-delà des milieux professionnels concernés. Il faut établir des échanges permanents entre les acteurs, les ateliers, les laboratoires et la société.

Former la jeunesse pour investir dans la société

Revoir de fond en comble les formations initiales technologiques et professionnelles. Cette refonte doit impérativement s'appuyer sur l'objectif d'une vraie reconquête industrielle, laquelle passe par une revalorisation massive des métiers correspondants. À partir de cette ambition nouvelle, il conviendrait d'ouvrir des filières en lien avec les évolutions actuelles et à venir des métiers et des techniques. Elles doivent s'inscrire dans de

La citoyenneté ne doit plus s'arrêter à la porte du laboratoire ou de l'atelier. Dans son activité professionnelle, chaque salarié doit pouvoir déployer toutes ses capacités pour lui-même, pour son travail et leurs rapports à la société.

grands enjeux nationaux de reconquête de secteurs entiers ou de secteurs nouveaux comme l'énergie, les transports et l'environnement mentionnés précédemment. L'orientation vers ces filières ne doit plus être contrainte ou par défaut mais doit résulter d'un projet personnel positif. Pour cela, il convient de :
– revaloriser les métiers correspondants, de recruter des enseignants eux-mêmes formés à la diffusion des savoirs et des savoir-faire issus des métiers et technologies nouvelles ;
– renforcer considérablement les moyens consacrés aux établissements d'enseignement technique et professionnel ;
– développer la formation continue dans les établissements publics et industriels ;
– établir des partenariats avec les entreprises sur le contenu des formations et développer les échanges de formateurs.
Les contenus des formations ne peuvent être définis par les desiderata patronaux, qui se limitent à leurs besoins et objectifs de rentabilité de court terme mais par des programmes dans le long terme anticipant l'évolution des savoirs et des métiers.

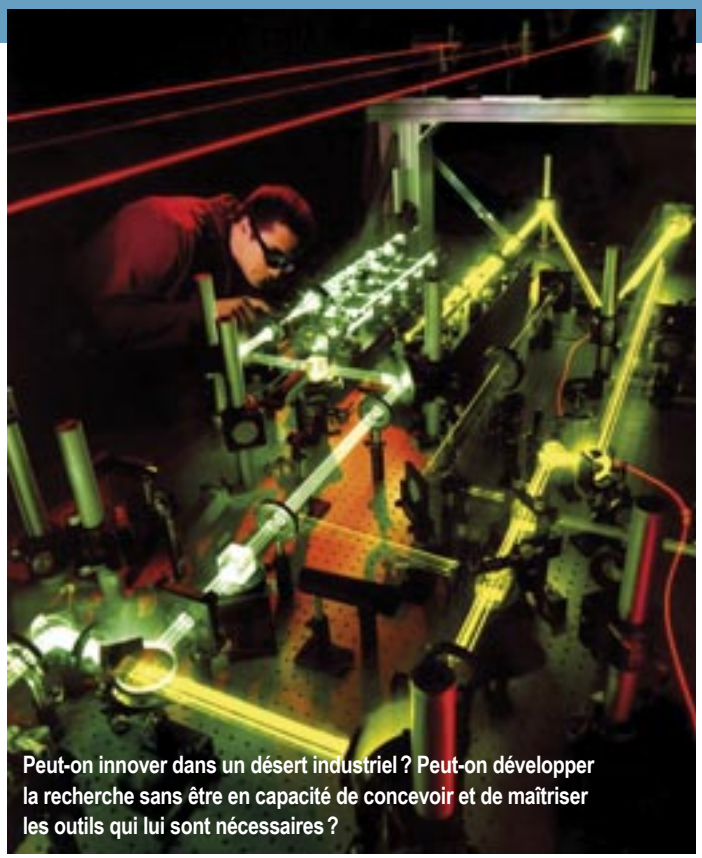
Changer le travail

Par-delà ces deux axes prioritaires totalement interdépendants[1], dans les équipes, dans les laboratoires, dans les organismes publics, la conception et l'organisation du travail doivent être profondément changées. Il s'agit d'une question fondamentale. Soit on poursuit avec les objectifs actuels, rendant le travail aliénant, avec les rejets que cela entraîne, soit on transforme les buts du travail, et donc son organisation.

Le travail ne se résume pas à la mise en œuvre de techniques et de procédés. Les structures humaines, sociales et participatives jouent un grand rôle pour construire les liens nécessaires entre tous les acteurs.
Il conviendrait de donner beaucoup plus de pouvoir aux salariés en ce qui concerne l'orientation et l'organisation des laboratoires, des organismes de recherche et d'enseignement. Les quelques avancées issues de la loi d'orientation de 1968 ont été vidées de leurs prérogatives initiales car les conditions de leur exercice se sont profondément dégradées.

Si ces quelques lignes ont permis de rapprocher le Nobel du chaudronnier en montrant que leurs préoccupations et leurs intérêts communs sont ceux de la nation, alors, demain, l'espoir pourrait se transformer en changements.

On peut mesurer aujourd'hui les effets de cette dégradation. Si les salariés avaient plus de pouvoir nous n'en serions certainement pas là.
Oui le mécanicien, l'électronicien, l'administratif ont toute leur place dans les instances décisionnelles où ils travaillent. Pour cela, ils doivent pouvoir disposer de structures professionnelles indépendantes. Cela suppose, entre autres, de considérer l'activité syndicale comme utile à la vie sociale professionnelle, et non de l'entraver, voire de la combattre.
Dans ce contexte de désocialisation du travail, de destruction des liens professionnels et de concurrence entre les personnels, les « séminaires de cohésion » aux coûts de plus en plus élevés au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie, sont de véritables farces. Ils tentent misérablement de rendre supportable l'enfer que le capitalisme et ses méthodes rendent quotidiennement impitoyable. Les quelques récréations épisodiques n'ont d'autre but que de faire perdurer l'inacceptable.
L'être humain trouve son humanité dans le travail (Karl Marx), et non dans des gadgets tentant de s'y substituer.



Peut-on innover dans un désert industriel ? Peut-on développer la recherche sans être en capacité de concevoir et de maîtriser les outils qui lui sont nécessaires ?

Les dogmes managériaux considèrent avec suffisance que leurs vérités jupitériennes ne doivent souffrir aucune contestation. L'application de ces doctrines est à l'organisation du travail ce que l'élection présidentielle est à la démocratie. On voit chaque jour où ces dogmes mènent la France. L'heure est au contraire à partager les pouvoirs et les savoirs en donnant beaucoup plus de place à tous les acteurs et à la société dans les instances d'orientation et de décision.
La citoyenneté ne doit plus s'arrêter à la porte du laboratoire ou de l'atelier. Dans son activité professionnelle, chaque salarié doit pouvoir déployer toutes ses capacités pour lui-même, pour son travail et pour le rapport que lui et son travail entretiennent avec la société.

DU DÉCLIN À LA RECONQUÊTE, VOILÀ L'AVENIR

La gouvernance en vigueur dans la recherche produit de la dévalorisation, de la déqualification, de la précarisation de masse. Elle est contre-productive car elle tend à faire croire aux acteurs eux-mêmes que leur apport au travail du groupe est devenu secondaire, coûteux, voire inutile, alors que c'est précisément de ce travail vivant que l'on manque partout. Elle tend non seulement à isoler, mais aussi à opposer les individus alors qu'il convient de fortifier les collectifs.
Revaloriser les métiers, les salaires, les rendre plus attractifs, développer les formations techniques, professionnelles, voilà l'avenir.
Dans la recherche et ailleurs, les personnels techniques ne sont pas que des accompagnants. Ce sont des acteurs à part entière. Ils doivent être reconnus pour la place qu'ils occupent, et donc disposer de beaucoup plus de pouvoir qu'ils n'en ont aujourd'hui.
Si ces quelques lignes ont permis de rapprocher le Nobel du chaudronnier en montrant que leurs préoccupations et leurs intérêts communs sont ceux de la nation, alors, demain, l'espoir pourrait enfin se transformer en changements. ■

***JEAN-CLAUDE LAGRON**
est dessinateur-projeteur, ancien ingénieur au CNRS.

1. De ce point de vue, la nouvelle et énième réforme des lycées professionnels est, dès son annonce, plombée par l'absence d'ambition de reconquêtes industrielles et de revalorisation des métiers correspondants.

ESPACE, DÉFENSE ET CYBER
QUELLE SOUVERAINETÉ ?

AUX CONFINS DE L'ESPACE PHYSIQUE ET DE LA MATRICE INFORMATIONNELLE : UNE IMMERSION DANS LE CYBERESPACE

PAR SYLVAIN DELAITRE*

Outils de souveraineté, domaines régaliens, guerre dans l'espace, course technologique aux armements, cybersécurité et cyberdéfense, interdépendances, maîtrise des filières stratégiques – dont celle du numérique –, construction d'alternatives aux monopoles des grandes plates-formes, désarmement multilatéral, sortie de l'OTAN… Tels sont les concepts que nous allons croiser au cours de notre voyage aux confins de l'espace et du cyberespace.

Le pari de ce dossier, somme toute original dans son approche hybride, bicéphale, consiste à révéler à travers une série de neuf articles le continuum entre l'espace et le cyberespace. Ces deux domaines, qui se recoupent physiquement – l'espace étant un des lieux privilégiés de l'acquisition et de la transmission des informations –, se rejoignent également par le haut degré d'avancement des technologies déployées et la criticité de leur maîtrise.

La France et les partenaires européens, longtemps en tête dans les technologies développées dans ces domaines, se retrouvent aujourd'hui en position de dépendance de puissances tierces, notamment à cause de la désindustrialisation opérée en application de l'idéologie néolibérale et sous pression de la nouvelle course technologique aux armements. Pour preuve, en 2023 trois lancements spatiaux européens eurent lieu, contre quatre-vingt-cinq états-uniens ; et dans le domaine des composants numériques, l'Europe qui ne représente plus que 8 % de la production mondiale !

Lieux historiques de développement du génie scientifique, l'espace et le cyberespace sont devenus, dans un monde de conflits et de dérégulation financière, un terrain d'affrontement à la fois ouvert et indirect – où l'Europe est en train de s'effacer face à des hyper-monopoles régionaux : États-Unis et Asie, essentiellement.

Ce dossier se propose donc faire le point sur ces lacunes et dépendances, sans en ignorer les causes sous-jacentes, et sur les menaces associées, mais suggère également des amorces de solutions pour une nouvelle maîtrise via la reconstruction de filières industrielles et la mise en place de coopérations scientifiques et technologiques mutuellement avantageuses.

Préparez-vous à entrer dans la matrice ! ■

***SYLVAIN DELAITRE,** membre du comité de rédaction de *Progressistes*, est ingénieur-chercheur, membre du Conseil supérieur de la réserve militaire et de la CGT Métallurgie.

« La souveraineté nationale appartient au peuple. »

REDONNER PLEINE VIE À UN CONCEPT

La souveraineté appartenant au peuple est un des fondements révolutionnaires et visionnaires de la Constitution de 1793. Elle est toujours d'actualité, mais cette conception est devenue insupportable aux chantres du libéralisme, aux détracteurs masqués de notre Constitution républicaine qu'ils se déclarent de droite, du centre, macronistes ou d'extrême droite. Et plus largement au système socioéconomique qui domine le monde.

PAR JEAN-JACQUES DESVIGNES*

Le mot « souveraineté » revient dans de nombreux discours politiques ou médiatiques. On voudrait que ce mot soit un écho de 1793 pour rappeler la séquence révolutionnaire qui a tracé un chemin nouveau et durable pour la France et l'humanité. En effet, ce terme a pris tout son sens révolutionnaire lorsqu'il a été inscrit dans l'article 25 de la Constitution de 1793 que « *la souveraineté réside dans le peuple ; elle est indivisible, imprescriptible et inaliénable* ». L'idée deviendra en 1958 : « *La souveraineté nationale appartient au peuple qui l'exerce par ses représentants et par la voie du référendum. Aucune section du peuple ni aucun individu ne peut s'en attribuer l'exercice.* »

Ces quelques précisions illustrent la place capitale qu'occupait la notion de *souveraineté* dans la Constitution. Malheureusement elles manquent au débat aujourd'hui tant fleurissent les velléités pour en travestir le sens et le contenu.

UN ÉTAT DES LIEUX

Le mouvement de lutte sociale contre la réforme gouvernementale du régime des retraites est inédit par son ancrage dans la population, sa persistance dans un véritable face-à-face avec un gouvernement qui use de tous les artifices et failles constitutionnelles pour museler les débats parlementaires et finalement passer en force sans vote. Cette séquence a montré que ce pilier républicain de souveraineté qui « *appartient au peuple par ses représentants et par la voie du référendum* » peut se fracasser contre un pouvoir hostile. La volonté de dévoyer le sens de souveraineté nationale appartenant au peuple va encore plus loin quand elle le travestit pour le traduire en nationalisme. Autant, lors des guerres de libération qui ont secoué le monde, le nationalisme était un projet politique réellement émancipateur puisqu'il répondait à une volonté d'indépendance et de souveraineté, autant aujourd'hui ce terme est différent et ambigu, brouillant les pistes sur les réels objectifs de ceux qui en font leur étendard. De par le monde, son utilisation tourne fondamentalement le dos à des conceptions démocratiques assurant la souveraineté nationale au peuple.

Il existe des variantes de nationalismes, mais elles convergent toutes dans une vision étriquée de ce qui fait nation et s'inscrivent dans un repli sur soi, une certaine réécriture de l'histoire magnifiant la « nation » (la leur) et rejetant l'altérité jusqu'à la xénophobie. Les extrêmes droites s'inscrivent toutes dans cette philosophie politique mortifère.

UN PEU D'HISTOIRE RÉCENTE

Comme l'analyse l'historien Roger Martelli, « *Le monde ne relève pas d'un modèle unique d'organisation, mais d'un entrelacs de logiques, économiques, géopolitiques, sociales et culturelles* », et il ajoute qu'« *aucune indépendance souveraine ne peut penser en elle-même* ». C'est pourquoi des liens intrinsèques se sont noués dans des rapports de forces entre les intérêts des peuples, des États, de la Bourse, des circuits financiers et des sociétés multinationales.

> La guerre constitue une composante inhérente à son fonctionnement en la considérant comme une issue pour satisfaire aux intérêts de la classe sociale qu'elle sert : les tenants du capital et de la finance.

> La volonté de dévoyer le sens de souveraineté nationale appartenant au peuple va encore plus loin quand elle le travestit pour le traduire en nationalisme.

Des accords internationaux se sont constitués. L'ONU, créée au sortir de la Seconde Guerre mondiale, en 1948, est à ce titre l'organisation centrale dans le monde dont la mission est, reprenant le Pacte de la Société des Nations, « *de développer la coopération entre les nations et* […] *leur garantir la paix et la sécurité* ».

Elle précisera dans l'article 1er de sa charte constitutive ses buts :

« *1. Maintenir la paix et la sécurité internationale et à cette fin : prendre des mesures collectives efficaces en vue de prévenir et d'écarter les menaces à la paix et de réprimer tout acte d'agression ou autre rupture de la paix, et réaliser par des moyens pacifiques* […] *l'ajustement ou le règlement de différends ou de situations, de caractère international, susceptibles de mener à une rupture de la paix ;*

2. Développer entre les nations des relations amicales sur le respect du principe de l'égalité de droits des peuples et de leur droit à disposer d'eux-mêmes […] *;*

3. Réaliser la coopération internationale […]. »

Elle définira ensuite, les piliers d'une culture de la paix entre les peuples :

Déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1793. Cette déclaration est une section de la Constitution de la Première République française, proclamée le 24 juin 1793. Son article 25 affirme que « *la souveraineté réside dans le peuple ; elle est indivisible, imprescriptible et inaliénable* ».

l'éducation, le développement économique et social durable, le respect des droits de l'homme, l'égalité femme-homme, la participation démocratique, la solidarité, la libre circulation des informations et connaissances, la paix et la sécurité.
Ces concepts bien éloignés, voire contradictoires au système capitaliste témoignent qu'ils sont les fruits des exigences et interventions des peuples engagés dans des luttes de classe.
L'ONU et ses multiples institutions spécialisées (OIT, UNESCO, FAO, OMS…) constituent les outils fondamentaux mondiaux pour prévenir ou trouver une issue aux situations de conflits, guerres ou insécurités.

DES MENACES, TOUJOURS

Toutefois le chemin n'est pas simple dans un monde sous domination capitaliste fondamentalement basée sur l'exploitation, la domination de l'homme et de la nature, la mise en concurrence, le profit financier et le chacun pour soi.
La guerre constitue une composante inhérente à son fonctionnement en la considérant comme une issue pour satisfaire aux intérêts de la classe sociale qu'elle sert : les tenants du capital et de la finance.
Avec cette logique, pour la huitième année consécutive les dépenses militaires dans le monde battent leur record : + 3,7 % en 2022 pour atteindre 2 240 milliards de dollars (+19 % sur la période 2013-2022), comme l'a établi l'Institut international de recherche sur la paix de Stockholm (SIPRI). La guerre en Ukraine accélère cette croissance.
Dans notre pays, la loi de programmation militaire 2024-2030 votée au Parlement atteint les 413 Md€ (rappel : 295 Md€ pour 2019-2025), soit + 40 % par rapport à la précédente. Ce coût est de très loin supérieur aux prétendus 12 Md€ d'économies destinés à la sauvegarde de nos systèmes de retraites. Mais là, pas de souci…
Ce budget confirme la voie « d'une économie de guerre » pour la France lancée par le président de la République Emmanuel Macron en 2022, dans le cadre du salon international de la défense et de la sécurité EuroSatory, devant un parterre d'industriels de la défense et des hauts gradés militaires.

> « À quelle souveraineté peut-on prétendre lorsque l'on ne possède pas les savoirs, les savoir-faire, les formations, les pilotages, les matières, les outils pour répondre à ses besoins ? »

Et il a réitéré récemment : « *Nous sommes en guerre* » avant d'en appeler à préparer « *une guerre d'avance* ».
Assurément il n'y a là aucun signe pour engager la France dans une culture de la paix. Ce qui valide et rend malheureusement cohérente sa décision de 2022 de supprimer le corps diplomatique dans le sillage de la réforme de la haute fonction publique.
Mais au-delà de ce budget considérable il est tout aussi important d'examiner les objectifs auxquels il répond.
Quelques indicateurs montrent que la stratégie macroniste se bâtit sur la dissuasion avec le renforcement de l'arme nucléaire, ce qui éloigne la France du TIAN (Traité sur l'interdiction des armes nucléaires), et des porte-avions, ce qui contraint à des ▸

coupes sur d'autres matériels, parmi lesquels des avions de surveillances et d'interventions maritimes, qui pourtant répondent davantage à des besoins de défense et de sécurité du territoire.

Non satisfait de cette dérive ruineuse et financièrement et en termes d'espoir de paix dans le monde, les sénateurs, dans le cadre de la loi de programmation militaire, ont voté un amendement proposant la mise en place d'un « livret d'épargne souveraineté » au 1er janvier 2024 destiné à soutenir le financement de l'industrie de défense française. Il s'agit en retour d'exonérer d'impôt sur le revenu et de prélèvements sociaux les personnes y recourant.

Encore un dévoiement de cette souveraineté nationale avec un nouvel artifice pour privilégier une industrie d'armement déjà fortement soutenue et aujourd'hui totalement aux mains du secteur privé (Dassault, Thales, MBDA, Airbus Group, Safran, Nexter, Naval Group…), et cela au détriment des fonds publics et sociaux.

Montage d'Ariane 5 au centre spatial de Guyane.
La France possède encore de grands atouts industriels, mais son affaiblissement depuis des années est avéré.

RELEVER LES DÉFIS

Mais allons plus loin dans ce concept de souveraineté nationale. L'assurer nécessite d'avoir des capacités humaines et matérielles à la hauteur. À quelle souveraineté peut-on prétendre lorsque l'on ne possède pas les savoirs, les savoir-faire, les formations, les pilotages, les matières, les outils pour répondre à ses besoins ? Quelle défense nationale lorsque l'on n'est pas en capacité de produire ses propres moyens de défense ? C'est bien tous les enjeux actuels posés par les dépendances à l'étranger, les externalisations, les privatisations de secteurs essentiels, voire stratégiques pour le pays. Un pays comme le nôtre possède encore de merveilleux atouts, mais sa désindustrialisation depuis des années est un fait avéré (la part de l'industrie dans le PIB passe de 17 % à 11 % en vingt ans). Notre dépendance s'accroît, entraînant des pertes de maîtrise dans des secteurs stratégiques (énergie, composants électroniques, traitement de données).

En la matière, le PCF soutient l'urgence d'une réindustrialisation de la France par des actes politiques forts, qu'il s'agisse de plan d'embauches et/ou de formations, ou encore de rebâtir des pilotages publics, notamment dans le secteur de la défense et de la recherche (ONERA, CNES, CEA). Urgence également de soutenir l'industrie, mais sous conditions et avec des objectifs ciblés, sous contrôle tripartite (industriels, État, salariés), des coopérations internationales incluant des critères sociaux et environnementaux. Il n'existe pas de souveraineté nationale sans maîtrise nationale. Bien évidemment tout ne peut être maîtrisé, mais il s'agit aussi de définir en matière de politiques industrielles nationales des objectifs et des moyens pour les atteindre.

> « Il y a un besoin vital de rupture de pensée en visant à construire le vivre-ensemble, le bien-être de tous dans un libre développement de chacun. »

LES COMBATS DE L'HEURE

On notera l'absence de propositions des nationalistes pour combattre concrètement ce déclin dans les luttes et lors des débats parlementaires.

Leur modèle idéologique et économique entraîne le monde dans l'abîme en amplifiant les inégalités sociales, en attisant les conflits, en freinant les capacités humaines à des créations utiles, en générant une peur de l'avenir.

Jamais le monde n'a été dans un tel état d'instabilité et de manque de perspective. Voir des milliers d'êtres humains se noyer dans nos mers fuyant la misère, la faim, la guerre, le désespoir est effroyable. Et ils ne sont qu'une parcelle du désastre que vivent des centaines de millions d'humains.

La course au surarmement est ouverte. Les budgets militaires ne cessent de croître tandis que parallèlement la faim et la malnutrition s'accroissent, faisant plus de victimes que n'en font le sida, le paludisme et la tuberculose conjugués.

Chaque jour, 25 000 personnes, dont plus de 10 000 enfants, meurent de la faim et des causes associées. En 2021, quelque 2,3 milliards de personnes (29,3 % de la population mondiale) étaient en situation d'insécurité alimentaire modérée ou grave. Le changement climatique pourrait conduire à une augmentation du nombre de mal nourris, de 40 à 170 millions. Alors que, selon l'ONU, 5 % des fonds alloués aux dépenses militaires mondiales pendant dix ans suffiraient pour éradiquer la faim et les épidémies dans le monde, et permettraient de développer l'accès à l'eau et l'alphabétisation. Autre facteur aggravant, plus de 80 % de la population mondiale aujourd'hui n'ont pas accès à un système de protection sociale.

Il y a un besoin vital de rupture de pensée en visant à construire le vivre-ensemble, le bien-être de tous dans un libre développement de chacun. Cela nécessite de bâtir des liens d'aide et des coopérations, de s'engager réellement dans un désarmement multilatéral, de répondre aux besoins sociaux et de la nature.

Et puis bien évidemment, encore et toujours, « *la souveraineté nationale au peuple* ». ■

***JEAN-JACQUES DESVIGNES** est membre du collectif Paix et Désarmement de la CGT.

DÉFENSE ET SOUVERAINETÉ

Urgence écologique pour la planète, urgence sociale contre les inégalités, urgence pour établir la paix. Alors que commencent les guerres de l'eau, que l'accès aux terres dites rares et aux métaux critiques s'affirme comme un enjeu majeur, alors que les économies se développent dans un monde globalisé, le concept de souveraineté s'évalue à l'aune de réalités nouvelles.

PAR NICOLAS DEVERS-DREYFUS*

L'actualité est si sensible que la *Revue Défense nationale* consacre à la souveraineté le dossier de sa livraison de décembre 2022, sous le titre « Souveraineté et résilience numérique », que livres et médias explorent le concept, que le président de la République et ses ministres – les réalités les obligeant parfois à réagir – s'en servent comme un argument de communication, jetant un voile opaque sur leur adhésion aux doctrines du libre-échange sans contraintes.

Les forces militaires, l'armée – pour autant qu'elle soit pilotée par une doctrine à la page, convenablement équipée et instruite, en lien étroit avec la nation –, demeurent, comme l'écrit Tristan Lecoq dans la *Revue Défense nationale*, « *le cœur de l'exercice de la souveraineté, et donc des moyens de celle-ci* ». Pour de Gaulle, selon des propos tenus en 1952, la défense est « *en effet la première raison d'être d'un État* ».

UNE FRANCE FORTE, DONC RÉSILIENTE

La défense n'est pas tout. La participation des citoyens, le caractère démocratique des orientations décidées, une société moins inégalitaire, moins fracturée, cela compte pour beaucoup.

La France, pays riche, peut et doit soutenir des investissements dans la recherche, l'éducation, la santé, la production des médicaments indispensables, le logement ; dans une relocalisation d'une industrie dégradée ; dans une agriculture durable, vivante, alors que le pays est de façon absurde devenu en quelques années plus importateur qu'exportateur de produits alimentaires.

Quant à la réindustrialisation, constatons que le bilan du président Macron est désastreux. Le déficit commercial de marchandises manufacturées a enregistré en 2022 un record : 80 milliards d'euros. La multiplication d'annonces ne va rien régler. On attire quelques projets par des aides publiques massives, mais sans aucune garantie dans la durée sur la relocalisation de productions et le développement de l'emploi.

Un pôle public de l'énergie à la mesure de ce qu'il était autrefois, des transports de qualité, de services publics revivifiés, bien dotés, comme les Français l'exigent ; une vision politique solidaire, humaniste pour le peuple comme pour les migrants qui souhaitent le rejoindre ; plus de justice sociale pour tous… Autant d'éléments qui dessinent un pays fort de sa cohésion sociale comme de son économie, donc un pays souverain, apte à des coopérations fructueuses dans le monde, en capacité si nécessaire de se rassembler dans l'épreuve.

> « La défense n'est pas tout. La participation des citoyens, le caractère démocratique des orientations décidées, une société moins inégalitaire, moins fracturée, cela compte pour beaucoup. »

L'actualité révèle ce que nous savions déjà : les États-Unis, si prompts à dénoncer les menées chinoises, non seulement contrôlent les communications, mais aspirent aussi les milliards de données des sites de commerce et des réseaux sociaux ; cela ▶

Les dépenses d'armement des États-Unis représentent près de 40 % du total mondial, et le triple de celles de la Chine.

leur facilite la surveillance des activités et des opinions de chacun, l'établissement du profil de chacun.
Pegasus n'est que la face émergente de l'iceberg.
Abou Dhabi serait devenu, selon *le Monde diplomatique* de janvier 2023, le « pôle mondial de la cybersurveillance », tandis qu'officiellement « la ferme à trolls » du feu le sulfureux Evgueni Prigojine a relayé sans faillir les campagnes de propagande du Kremlin.
Et qu'en est-il des intrusions d'autres puissances, États-Unis, Chine, Israël ?

UN NOUVEL ESPACE DE TENSIONS

Le fond des mers est lui aussi devenu l'un des espaces où se dispute la souveraineté. Les risques et les répercussions d'un conflit sous-marin sont majeurs. La perte de communications due à la coupure de câbles sous-marins d'Internet pourrait entraver gravement les communications diplomatiques ou militaires sensibles, provoquer d'énormes pertes financières en raison d'interruptions des transferts d'argent et paralyser d'autres systèmes vitaux.
Le risque d'une guerre sous-marine ne se limite pas aux destructions matérielles et aux perturbations des communications. L'expansion de l'infrastructure sous-marine, incluant les pipelines énergétiques, les câbles de communication sous-marins et les capteurs hydroacoustiques civils, a rendu nécessaire la prise en compte de nouvelles menaces de violations dans la planification de la guerre sous-marine. Les attaques sous-marines pourraient être déstabilisantes au niveau du nucléaire stratégique en donnant à un adversaire la possibilité de contrôler et de surveiller, par exemple, les armes nucléaires françaises majeures, embarquées sur les sous-marins lanceurs d'engins (SNLE), comme les systèmes d'alerte sous-marins tels qu'ils existent dans les détroits et autres lieux.
La souveraineté en matière de défense peut, dans chacun des domaines étudiés, s'améliorer si une volonté politique nouvelle, soutenue par une participation démocratique des chercheurs et des salariés concernés, est mise en œuvre avec des moyens correspondant aux enjeux.
Le dossier des divers aspects innovants de la souveraineté s'inscrit dans une situation politique mouvante, un contexte stratégique concret. Aujourd'hui, la course aux armements, aussi bien technologique que quantitative, relancée par les États-Unis, dont les dépenses avoisinent près de 40 % des dépenses mondiales d'armement et 3 fois celles de la Chine, entraîne le monde dans une spirale qu'il est urgent de contrecarrer par une mobilisation de toutes les forces de paix et de coopération.
Une conséquence, outre le danger de guerre, c'est le déclassement de fait des forces armées des États, même alliés des États-Unis, qui ne suivraient pas les progrès techniques des armements imposés par d'incessants sauts technologiques. Les armes nucléaires sont partout modernisées, voire augmentées.

SOUVERAINETÉ ET INTERDÉPENDANCES

Dans un monde formé de sociétés complexes, l'aspiration à une souveraineté nationale dans le siècle s'examine dans un cadre le plus souvent partagé. Pour exemple, un instrument majeur de la souveraineté est la monnaie. Or la France partage depuis plus de vingt ans avec certains de ses voisins une monnaie commune, l'euro. L'évaluation des conséquences pour l'économie nationale, l'opinion sur les choix politiques qui en ont découlé de cette souveraineté partagée, l'influence de l'économie allemande, la plus puissante de la zone, sur les orientations à l'œuvre sont trois questions qui touchent à la souveraineté, mais hors du sujet que nous traitons.
Il faut donc examiner les interdépendances, et la première de celles-ci, l'intégration à une Union européenne très libérale : nous avons une caricature d'Europe, fort peu démocratique, injuste socialement, aux politiques internationales écartelées entre la soumission aux volontés américaines et la défense d'intérêts économiques souvent divergents entre les États qui la composent. Ajoutons au tableau la montée aux responsabilités de dirigeants d'extrême droite en Hongrie, Pologne, Italie.
Pour autant, nous luttons pour une Europe profondément transformée, démocratique et sociale. Nous réfutons toute idée de Brexit à la britannique de type « *Britain first* ».
Francis Wurtz nous alertait, dès 2017, dans une de ses chroniques de *l'Humanité Dimanche* : « *Si nous n'en sommes pas à "la France d'abord", le chacun pour soi y progresse à grands pas : qui ne sent reculer l'esprit de solidarité, l'ouverture aux autres, l'attachement aux coopérations, le sens du multilatéralisme* […] ? »
Le tragique de la situation actuelle, née de la guerre déclenchée par Poutine en Ukraine, c'est que l'esprit de « solidarité » encouragé par les dominants pousse à des coopérations bellicistes dont la politique et les industries énergétiques et d'armement états-uniennes sont les grands bénéficiaires. Dans le même temps, les États-Uniens entraînent l'Europe dans une dangereuse posture de confrontation avec la Chine.
Le président Macron a bien senti le piège, on l'entend dans certaines de ses déclarations oscillantes, mais il n'a ni la volonté ni le pouvoir de s'en extraire. Son concept d'autonomie stratégique européenne fait sourire ses partenaires, quant à eux fermement arrimés à une OTAN sous direction états-unienne. Ses gesticulations militaires dans le Pacifique apparaissent inutilement provocatrices.
Les coopérations de défense, sans doute indispensables dans différents domaines, qui ne sont déjà pas faciles à arbitrer selon les intérêts de chacun des États engagés, se sont compliquées par la sortie de l'Union européenne de son concurrent et néanmoins partenaire historique, la Grande-Bretagne.
Elles souffrent également de la soumission à l'imperium états-unien, sabordant des coopérations européennes sur l'autel de l'achat massif de leurs propres productions. Il s'écrit que leur industrie d'armement a multiplié par 3 son chiffre d'affaires depuis 2021.

DES COOPÉRATIONS HORS DE L'OTAN

Nous confirmons notre volonté de voir la France sortir immédiatement du commandement intégré de l'OTAN, puis de l'alliance elle-même.
En parallèle, indépendamment des sujets abordés, l'intérêt de notre pays comme de ses voisins commande

de nouer de nouveaux partenariats de proximités, tant pour la sécurité de l'espace aérien que pour la gestion des approches maritimes.
De nouvelles coopérations sur une base d'égalité sont donc à établir au fur et à mesure que l'on s'éloignera des standards de l'Alliance atlantique. Compte tenu de la situation géopolitique centrale de la France dans l'Ouest européen, nos voisins, quelles que soient les différences de politique étrangère et de défense, seront amenés à conclure de tels accords.
Autre facteur de souveraineté – quitte à réduire le format des forces armées –, combler les trous capacitaires qui entravent la liberté de décision et d'éventuel engagement : s'équiper en drones d'observation et d'attaque à longue distance ; en avions de transport aérien stratégique une fois éliminés les besoins de projections de force non indispensables ; constituer des stocks de munitions et assurer leur fabrication. Sur un autre plan : donner quelques moyens à une défense opérationnelle du territoire et à la création d'une véritable réserve citoyenne ; améliorer les conditions matérielles et morales des personnels ; réaliser des frégates de premier rang et des patrouilleurs qui garantissent la protection de nos espaces maritimes, au lieu de concentrer les crédits navals sur un porte-avions symbole dépassé et vulnérable de projection.
Observons, pour conclure : fort heureusement la France n'est pas entrée dans une « économie de guerre ». Quels que soient les effets de manches d'Emmanuel Macron, et son inquiétante volonté d'habituer le citoyen à accepter la brutalisation de l'ordre international, voire le glissement vers l'engagement du pays dans une logique de confrontation dans l'Est européen et la zone Pacifique. Si les mots ont un sens, l'économie de guerre, c'est tout autre chose.
En témoigne l'audition fin mai du P-DG de Dassault Aviation, Éric Trappier, devant la commission des affaires étrangères et de la défense du Sénat. Il a confirmé « *que pour des raisons budgétaires l'État ne souhaite pas accélérer la livraison de Rafale* », alors que Dassault Aviation avait les capacités de passer à la cadence de production de quatre avions par mois
Effectivement, le ministère des Armées a été contraint d'étaler plusieurs programmes d'équipements terrestres, maritimes et aériens. Même si la loi de programmation militaire s'inscrit dans une forte hausse à 413 milliards d'euros, contre 293 milliards pour la précédente, outre les effets de l'inflation à compenser, il faut surtout remarquer que les plus fortes dépenses sont prévues pour les années 2028, 2029 et 2030.
On ne compte plus les plans présidentiels qui renvoient à un futur assez lointain les investissements annoncés. Il n'empêche que nous contestons de tels volumes consacrés à la défense alors qu'il y a tant d'autres priorités. Face aux tensions, au désordre du monde, la sécurité du pays appelle à une action vigoureuse pour enclencher un processus de désarmement. Oui à une véritable souveraineté liée à des coopérations pacifiques, à de nouvelles solidarités entre les peuples. Non au parti de la guerre qui, chaque jour par la voix de tant d'idéologues et de médias, avance à peine masqué sous le signe trompeur du droit et de la vertu. ■

> « L'intérêt de notre pays comme de ses voisins commande de nouer de nouveaux partenariats de proximités, tant pour la sécurité de l'espace aérien que pour la gestion des approches maritimes. »

***NICOLAS DEVERS-DREYFUS,**
ancien auditeur de l'IHEDN, est membre de la commission Défense, Paix, Désarmement du PCF.

CYBERSÉCURITÉ : ENJEUX, PROTAGONISTES ET RÉSILIENCE

Les systèmes d'information sont désormais des cibles de choix. Cybersécurité et cyberrésilience deviennent des enjeux cruciaux face aux nouvelles menaces dans l'espace numérique et à la professionnalisation des attaquants.

PAR BRUNO CHARRAT*

La cybersécurité, terme encore peu connu il y a une dizaine d'années, est désormais un enjeu partout dans le monde. La France a présenté une stratégie nationale pour la cybersécurité en 2021 avec un grand programme de recherche (PEPR) visant à répondre à dix défis de recherche fondamentale au service de la filière. Celle des États-Unis a été présentée en mars 2023[1], et en avril dernier la Commission européenne a présenté de nouvelles initiatives, dont celle de créer un bouclier cyber[2]. Selon Guillaume Poupard, directeur général de l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI) de 2014 à 2022, intervenant lors du lancement du Grenoble Alpes Cybersecurity Institute en novembre 2018 : « *La transition numérique est un eldorado pour tous les malfaisants de la Terre* », l'enjeu est donc partout le même, protéger la société numérique de ses attaquants, qui « *poursuivent l'amélioration de leurs capacités,* […] *avec une convergence accrue de l'outillage des attaquants,* […] *le ciblage d'équipements périphériques* ». Fin 2022, Interpol indiquait même que la criminalité financière et la cybercriminalité seraient désormais les principales menaces dans le monde. L'ANSSI (l'autorité nationale en France, ▶

> « Face à l'enjeu de cybersécurité, préparation et anticipation sont nécessaires. »

créée en 2009, après avoir été annoncée dans le Livre blanc de la défense et de la sécurité nationale de 2008) décrit la cybersécurité comme « *l'état recherché pour un système d'information lui permettant de résister à des événements issus du cyberespace susceptibles de compromettre la disponibilité, l'intégrité ou la confidentialité des données stockées, traitées ou transmises et des services connexes que ces systèmes offrent ou qu'ils rendent accessibles* ». Un système d'information est un ensemble organisé de ressources qui permet de collecter, stocker, traiter et distribuer de l'information. Ce système sociotechnique comprend un sous-système social (structure organisationnelle, données, personnels) et un sous-système technique, composé des technologies (matériels, logiciels). Le terme « systèmes d'information » peut donc aussi bien s'appliquer aux objets connectés de la vie quotidienne qu'aux infrastructures critiques (qui permettent de produire les biens et d'assurer les services essentiels à la nation) ou encore aux nouveaux services numériques qui assurent le fonctionnement et la résilience de notre société (services financiers, logistique…).

Le conflit entre la Russie et Ukraine, démarré en 2022, souligne combien ces systèmes d'information sont désormais une cible de choix en temps de guerre. Avant même le démarrage du conflit, la Russie a « pilonné » l'Ukraine de frappes numériques ; la plus visible de près de quatre cents cyberattaques lancées par, selon Microsoft, six groupes de pirates informatiques parrainés par la Russie, a paralysé le réseau de communications satellitaires Ka-Sat. Même en l'absence de conflits, ces systèmes d'information sont la cible d'une grande variété d'attaquants, généralement pour des motivations financières. Le temps des attaques ludiques, effectuées par des adolescents désœuvrés (*script-kiddies*), comme dans le film *War Games* de 1983, est révolu.

Les systèmes d'information essentiels au fonctionnement d'infrastructures critiques sont désormais une cible de choix en temps de guerre.

LES ATTAQUANTS N'ONT PAS TOUS LES MÊMES MOTIVATIONS

L'ANSSI essaie de distinguer des types attaquants en fonction de leurs motivations. Au-delà des *script-kiddies* mentionnés, elle souligne le risque créé par des employés mécontents et souhaitant se venger. La Maison-Blanche en a été victime en 2022[3] lorsqu'un de ses anciens employés avait détourné un serveur. Et c'est sur des employés mécontents que le groupe Lapsus$ (groupe de cyberpirates) semble s'être appuyé pour efficacement voler des données de multinationales comme Nvidia, Samsung, Microsoft et Okta.

> « Même en l'absence de conflits, les systèmes d'information sont la cible d'une grande variété d'attaquants, généralement pour des motivations financières. »

Un troisième groupe recouvre les personnes attaquant les systèmes d'information par conviction idéologique. Ces « hacktivistes » peuvent alors être désignés de cyberpatriotes ou de cyberterroristes, selon le camp pour lequel ils agissent. Dès le début du conflit Russo-Ukrainien, le vice-Premier ministre ukrainien a fait appel aux informaticiens du monde entier pour constituer une IT Army, une armée informatique, en charge de contrer les cyberattaques russes. Certains experts en France ont prévenu les autorités ukrainiennes sur la facilité à pirater les caméras de la police de Kiev. Même démarche du côté des Russes, dont plusieurs groupes d'hacktivistes comme Killnet[4] sont recrutés et renforcés pour bloquer les sites internet de soutiens de l'Ukraine.

Mais pour beaucoup de pirates la motivation est lucrative : cybermercenaires, officines en charge d'actions de déstabilisation, groupes cybercriminels, ainsi que des experts, qui leur développent des outils pour les-

quels ils cèdent ensuite des licences à des affiliés. Ces groupes cybercriminels sont structurés comme de véritables entreprises, parfois ironiquement appelées *licornes*. En cela, il est temps de changer le regard sur cette cybercriminalité et de remiser l'image du pirate informatique, solitaire et vêtu d'un sweat à capuche, comme on continue de la représenter quasi systématiquement dans les médias. La cybercriminalité est devenue un secteur économique qui causerait à la société des dommages qui se chiffrent en milliers de milliards de dollars. Un véritable écosystème criminel existe, avec des acteurs globaux et une chaîne de valeurs.

Ces groupes cybercriminels franchissent constamment de nouveaux niveaux de professionnalisation et d'innovation. Certains ont même la surface financière pour acheter des vulnérabilités dans les logiciels, connues sous la désignation de *zero day*. Comme le soulignait l'expert Gérôme Billois lors du Panocrim 2022 du Clusif, certains de ces groupes sont même soumis – comme leurs cibles – à un vrai problème d'accès aux ressources et aux compétences, les conduisant à faire du marketing, à donner des cours pour expliquer comment gagner de l'argent avec des botnets, utilisent de faux centres d'appels pour inciter les victimes à télécharger des logiciels malveillants ou même, dans un cas extrême, à créer une entreprise légitime de test de pénétration pour recruter des spécialistes en cybersécurité[5].

> « La cybercriminalité est devenue un secteur économique qui causerait à la société des dommages qui se chiffrent en milliers de milliards de dollars. »

Le dernier groupe, enfin, rassemble les acteurs étatiques. Le cyberespace est en effet devenu un champ de conflictualité entre nations, où se conduisent des actions d'espionnage et de déstabilisation. En 2010, la destruction de plusieurs centaines de centrifugeuses par le ver informatique Stuxnet a sévèrement perturbé le programme nucléaire iranien[6]. La déstabilisation du logiciel SolarWinds par altération de son code source, attribuée à la Russie par les États-Unis, a permis la conduite d'actions d'espionnage aux États-Unis et dans vingt-quatre pays. Face à un cyberespace devenu un lieu de conflictualités, la France a lancé en 2018, lors du Forum de Paris sur la paix, l'Appel de Paris pour la confiance et la sécurité dans le cyberespace. Cet appel est devenu le cadre multiacteurs de référence pour promouvoir les principes fondamentaux de sécurisation du cyberespace. Il est désormais soutenu par plus de 1 200 acteurs, dont 80 États, plus de 700 entreprises et plus de 380 organisations de la société civile.

LA DÉFENSE S'ORGANISE

Pour se défendre face à ces cybermenaces, les institutions, les entreprises et les citoyens doivent structurer leur cyberrésilience autour de trois composantes essentielles :

– des personnels correctement formés et outillés, capables d'appréhender les situations et d'agir en cas de cyberattaques ;

– des processus opérationnels, comme celui proposé par le NIST (National Institute of Standards Tecnology), permettant de structurer la résilience des systèmes d'information dans le temps ;

– des technologies destinées à protéger les systèmes d'information des attaques connues et à détecter les événements malveillants issus du cyberespace.

Les salons internationaux offrent l'occasion de découvrir les dernières innovations des industriels du secteur en réponse aux nouveaux risques et menaces. Lors de l'édition 2023 de la conférence RSA, ChatGPT a été mentionné dans pratiquement chaque intervention. Ce nouvel outil à base d'intelligence artificielle inspire aux industriels à la fois des craintes et de grands espoirs sur la possibilité de faire émerger de nouveaux outils de cyberdéfense. Pour s'introduire dans un système d'information, les pirates informatiques peuvent essayer de casser avec l'aide d'employés mécontents ou d'outils technologiques la sécurité en place. L'autre solution est d'exploiter les vulnérabilités des sous-système techniques (matériels, logiciels) ou sociaux (données, processus, personnel). Les vulnérabilités créés par les utilisateurs sont exploitées dans de nombreuses attaques, comme le *phishing*, ou hameçonnage, ou encore l'« arnaque au président » (le fraudeur contacte le service comptable d'une entreprise cible en se faisant passer pour le président de la société mère ou du groupe).

> « Ce système sociotechnique comprend un sous-système social (structure organisationnelle, données, personnels) et un sous-système technique, composé des technologies (matériels, logiciels). »

Les nouvelles technologies (à base d'IA) permettent de mener des attaques plus dures à détecter ; par exemple des messages de *phishing* mieux ciblés par l'analyse des réseaux sociaux de la cible. Face à ce nouveau risque, la NSA et la CIA ont rendu obligatoires sur les postes de travail ▶

▶ les applications de blocage de publicité[7]. D'autres technologies permettent des attaques plus abusives, par exemple par l'utilisation de fausses voix ou de fausses vidéos générées par IA. Les attaquants comprennent la potentielle valeur des nouvelles technologies, conduisant certains à lancer des concours pour stimuler l'innovation.

TOUT EST-IL PERDU ?

Lorsqu'on parle des capacités et de la créativité des attaquants, le discours peut rapidement devenir anxiogène. Pourtant le conflit Russo-Ukrainien redonne de l'espoir. Le cyber Armageddon tant craint n'a finalement pas eu lieu, conduisant les belligérants à bombarder certaines cibles stratégiques plutôt que les bloquer informatiquement. La bonne prise en compte du risque cyber et la collaboration public-privé ont en effet permis de réduire l'impact des attaques. Face à l'enjeu de cybersécurité, préparation et anticipation sont nécessaires. Le système d'information va être attaqué et probablement il tombera, mais on s'organise du mieux possible pour pouvoir se relever. Cette nouvelle culture de la cyberrésilience est désormais un des grands enjeux, selon le World Economic Forum. Et cette cyberrésilience doit s'organiser par de la créativité et de l'innovation, comme l'a souligné le chef du Commandement de la cyberdéfense (Comcyber), le général Ayméric Bonnemaison[8]. La directive de la Commission européenne sur la résilience des entités critiques (REC), avec un champ qui va bien au-delà de la stricte cybermenace, devrait aider à cette évolution des pensées et faire émerger de nombreux défis scientifiques et technologiques. Des perspectives stimulantes pour la communauté de recherche en cybersécurité, qui, chaque jour, s'implique aux côtés des acteurs industriels et étatiques pour contribuer à l'essor d'une société numérique avec des risques réduits pour les institutions, les entreprises et les citoyens. ■

> « Pour se défendre face aux cybermenaces, les institutions, les entreprises et les citoyens doivent structurer leur cyberrésilience. »

***BRUNO CHARRAT est responsable du programme Sécurité au CEA.**

1. https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2023/03/02/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-national-cybersecurity-strategy/
2. https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/cybersecurity/
3. https://www.zataz.com/la-maison-blanche-piratee-par-un-ancien-informaticien/#respond
4. https://www.zataz.com/legion-la-cyber-armee-russe-recrute/#respond
5. https://www.wsj.com/articles/ransomware-gang-masquerades-as-real-company-to-recruit-tech-talent-11634819400
6. https://www.nytimes.com/2012/06/01/world/middleeast/obama-ordered-wave-of-cyberattacks-against-iran.html?_r=1%27amp;pagewanted=all
7. https://www.vice.com/en/article/93ypke/the-nsa-and-cia-use-ad-blockers-because-online-advertising-is-so-dangerous
8. « *J'arrive à contenir, j'arrive à me réorganiser, j'arrive à utiliser d'autres systèmes pour rebondir, le tout avec une créativité et une innovation importantes* » (https://www.defense.gouv.fr/actualites/larme-cyber-ukraine-trois-enseignements-a-retenir).

CYBERCLOUD ET DÉFENSE NATIONALE : FOCUS SUR LES COMPOSANTS

La maîtrise des couches informatiques intermédiaires et basses ainsi que des composants est essentielle. Quel que soit le degré de sécurité développé au niveau des logiciels, sans une production des composants sécurisée l'indépendance et la souveraineté de chaque État, en particulier de la France, dans le cyberespace ne peuvent pas être assurées.

PAR SYLVAIN DELAITRE*

La cybersécurité et la cyberdéfense représentent le sommet de la pyramide du numérique. Pour la cybersécurité d'un système – ou d'un système de systèmes –, ou encore pour opérer la cyberdéfense d'un État, il est essentiel de s'inquiéter des couches intermédiaires (production des logiciels et des systèmes d'exploitation), et surtout de la couche basse, c'est-à-dire les matériels : routeurs, mémoires, processeurs et microprocesseurs.
Si on traduit cela dans le langage de la loi de programmation militaire, une question s'impose : pourquoi dépenser 10 milliards d'euros en cyber sur cinq ans si on ne maîtrise ni la production de logiciels ni la fabrication de composants électroniques ?

LA PROBLÉMATIQUE DE LA SÉCURITÉ

Pourquoi la cyber n'est pas sécurisée « par nature », alors que le numérique est, « par nature », formaté et normé ? Certes, il y a des délinquants et des ennemis, mais ce n'est pas le principal problème, car si le numérique était strictement formaté et normé, sans aucune exception, il n'y aurait pas de possibilité de fraude ou de malveillance. En effet, si la fabrication des composants était complètement maîtrisée, comme dans l'ingénierie de l'avionique, où les normes de certifications sont les plus sûres, et si la production de logiciels était réalisée suivant les recommandations de l'Académie des sciences – nombreux avis dans ce sens ont été publiés depuis le tout début du siècle –, la question de la cybersécurité ne se poserait pas.
En 2011 le GAO, le Government Accountability Office des États-Unis (analogue à notre Cour des comptes), déclarait qu'au niveau mondial 41 % des composants de la défense et de

l'Aerospace sont contrefaits (copie) ou compromis (possibilités de malveillances). Le chiffre de 2021 serait d'environ 31 %, ce qui reste encore important.

Or la pression commerciale des grands développeurs de logiciels et de systèmes d'exploitation, à commencer par les GAFAM, pousse à produire au plus vite, afin d'être le premier sur le marché, quitte à rajouter ensuite de très nombreux « patchs de correction » afin de limiter les risques ! C'est comme si on montait dans un avion dont les principaux systèmes n'étaient pas certifiés, ni même vérifiés.

Chaque nouvelle faille, détectée puis revendue à prix d'or sur le *darknet*, est appelée « vulnérabilité *0-day* », car connue avant le patch de correction, auquel elle doit conduire. Ces failles sont le moteur, le pétrole de la cybermalveillance.

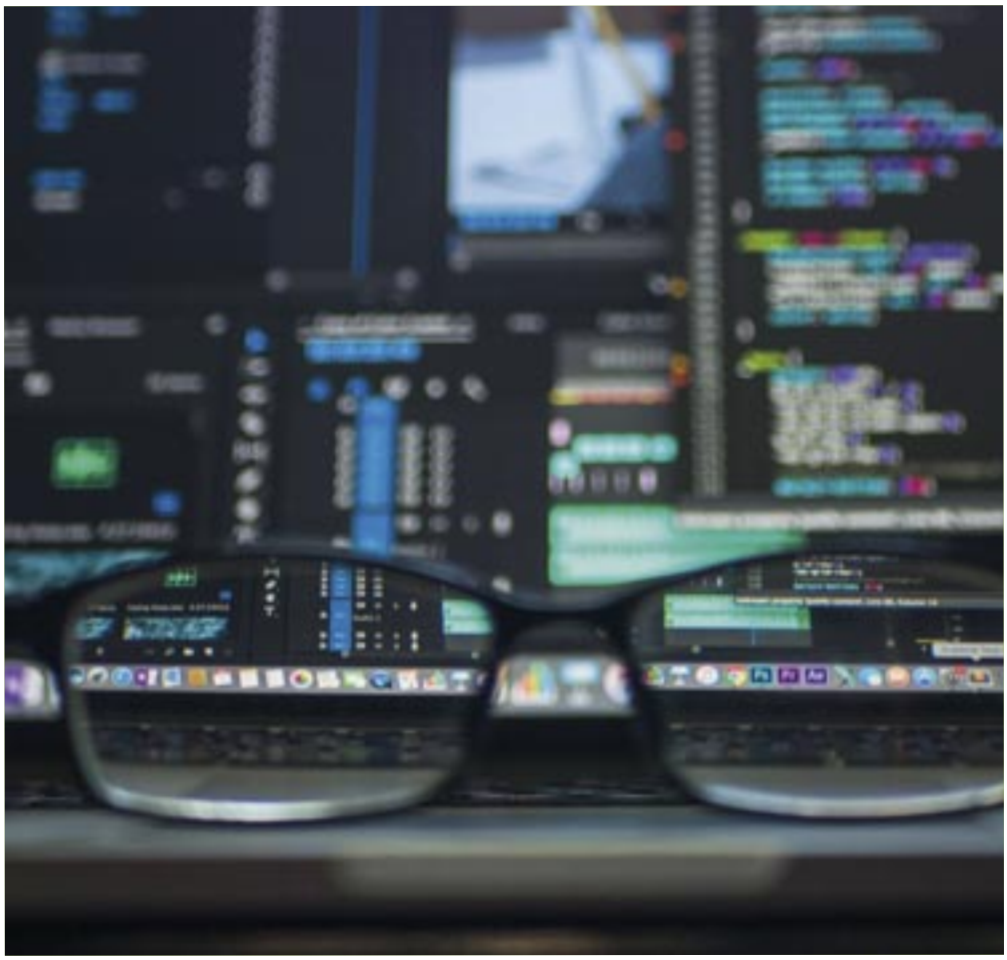
Donc, tout le système numérique peut-être corrompu :

– au niveau *du matériel*, par des composants compromis, notamment ceux qui abritent des portes dérobées et des mouchards, très souvent au profit des États et des puissances ;

– au niveau *des logiciels* par de nouveaux logiciels incomplets et non garantis, qui pullulent de vulnérabilités.

ALORS, QUE FAIRE ?

Il faut un Commissariat au plan repensé, la relance des logiciels libres, une indépendance par rapport aux GAFAM et le développement de la recherche. Dans le cadre de la loi de programmation militaire, le Conseil national de l'industrie, démocratisé et rénové, pourrait se coordonner avec un véritable Commissariat au plan pour de grands programmes par filières industrielles, en commençant par relancer une filière de composants électroniques, en France et en Europe, sur les bases des pôles industriels encore disponibles (comme STMicroelectronics avec les Italiens, le fabricant de substrats Soitec, le CEA, l'INRIA, les « académiques »…), afin de se redonner une vraie maîtrise des microprocesseurs – même s'ils ne sont pas de la dernière technologie… – et des composants électroniques de base : sans cela ni cybersécurité ni cyberdéfense crédibles.



À terme, c'est tout l'écosystème industriel du numérique qu'il faut reconstituer en Europe et en France, et relancer :

– les fondeurs, car ils sont actuellement sous contrôle de capitaux états-uniens ;

– les fabricants de masques, pour les personnels travaillant à la production de circuits intégrés et des nano- et micropuces ;

– les systèmes de fabrications à base de salles blanches (40 Md€ ont été investis pour une nouvelle usine du taïwanais TSMC) ;

– les laboratoires de conception et de vérification ;

– les systèmes de test…

Bref, il faut sortir de la situation actuelle où 90 % des filières de haute technologie sont concentrés dans les unités de production de TSMC, selon un rapport du syndicat des industriels états-unien de l'électronique de 2021.

Pour ce qui concerne les ressources budgétaires, il faut un fonds d'investissement et anti-OPA – avec pour mission d'empêcher la prédation de nos pépites et licornes technologiques : quelques milliards d'euros suffisent (à comparer aux 34 milliards d'euros de BPI France) – ainsi qu'une structure démocratique de pilotage, de contrôle et de cofinancement de ces filières, afin d'empêcher que les grands groupes capitalistiques continuent de ne servir que les intérêts des actionnaires privés : créer un pôle public des filières stratégiques.

Si le numérique était strictement formaté et normé, sans aucune exception, il n'y aurait pas de possibilité de fraude ou de malveillance.

Par ailleurs, une relance des logiciels libres, la recherche de toutes les alternatives possibles aux plates-formes des GAFAM (il y en a !) et l'imposition de véritables normes sécurisées de production de logiciels fiables s'avèrent indispensables. À cette fin, il est nécessaire de redonner des possibilités budgétaires, car par nature les logiciels libres coûtent beaucoup moins cher que les abonnements aux GAFAM.

Un autre élément important est la reconstruction, avec les « académiques » (tels que Thierry Poibeau de l'ENS, Frédéric Meunier, et autres experts), d'une indépendance sur les moteurs de recherche (alternative à Google) et le développement des ▶

applications industrielles à l'IA qui soient complètement indépendantes des GAFAM et autres BATX. *Idem* pour trouver une alternative à Palantir, l'états-unien spécialisé dans le *big data*… et trop proche de la NSA.
En outre, il est possible et nécessaire de développer les recherches sur des alternatives moins consommatrices en énergies et plus efficaces, comme les circuits neuromorphiques (CNRS-Thales), notamment pour les applications en IA ou en simulations (jumeaux numériques).
Dans le domaine militaire, et plus précisément du nucléaire militaire, sachant que toute la crédibilité repose sur des simulations passées, on peut à juste titre s'interroger sur cette dite crédibilité si on ne dispose que des composants états-uniens (processeurs Nividia, essentiellement…). Donc, est-ce judicieux de dépenser autant dans la mise à jour du nucléaire militaire ? Pour quelle crédibilité si la cybersécurité a toujours les failles habituelles ? ■

***SYLVAIN DELAITRE** est ingénieur-chercheur, membre du Conseil supérieur

UNE GUERRE DE L'ESPACE PAR L'EXEMPLE DE L'ATTAQUE DE KA-SAT

Pendant quelques jours suivant le 24 février 2022, plusieurs milliers d'utilisateurs des opérateurs Nordnet (Orange) et Bigblu (Eutelsat), situés en particulier en Ukraine, n'ont plus eu accès à Internet à cause d'un « cyberévénement ». Les techniques des attaques cyber visant les satellites posent la question des enjeux des systèmes de défense déployés par les États pour garantir leur souveraineté.

PAR FLAVIEN RONTEIX--JACQUET *

Depuis quelques années, les grandes puissances, mues par leurs rivalités, ont réinvesti l'espace. Comme durant la guerre froide, quand on équipait les engins spatiaux d'armes automatiques, l'espace se militarise à la lueur de la montée des tensions et de l'importance primordiale qu'il revêt dans nos sociétés aujourd'hui.
Le satellite Ka-Sat du réseau ViaSat a été victime de cette évolution le 24 février 2023.
Observation, télécommunication, navigation, secours : les satellites remplissent des rôles essentiels dans le quotidien. Cela dit, les satellites sont des systèmes particulièrement sensibles car, comme tous les systèmes technologiques complexes, ils sont sujets à des problèmes de sécurité. Bien sûr, ils ne sont pas armés et ne peuvent pas se défendre d'attaques physiques. Mais un satellite peut, par exemple, être déplacé de son orbite de travail par un satellite attaquant, le rendant inopérant. Pis, il peut être aussi attaqué depuis le sol pour être détruit.

Les satellites, comme tous les systèmes embarquant du logiciel, sont particulièrement sensibles aux attaques cyber.

DES ANTÉCÉDENTS

La Russie a beaucoup fait parler d'elle en 2021 pour avoir, lors d'un exercice, détruit à l'aide d'un tir depuis le sol l'un de ses satellites. La justification qui avait été donnée par les autorités russes, c'était qu'il s'agissait d'un exercice de désorbitation de satellite en fin de vie.

> « Observation, télécommunication, navigation, secours : les satellites remplissent des rôles essentiels dans le quotidien. »

Les satellites, comme tous les systèmes embarquant du logiciel, sont particulièrement sensibles aux attaques cyber. Thales l'a démontré lors d'un exercice européen (OPS-SAT) en avril 2023 en neutralisant un satellite de l'Agence spatiale européenne par une attaque informatique depuis le sol : quatre chercheurs en cybersécurité ont réussi à prendre la main sur le système de contrôle

Pour garantir sa souveraineté sur les télécommunications spatiales, la France a mis en place en 2019 un Commandement de l'espace (CDE).

de bord du satellite pour y « injecter » un code malveillant et le neutraliser. Certes, il s'agissait d'un pur exercice de démonstration, mais il permet de se faire une idée de l'ampleur de l'impact d'une telle opération sur des systèmes de télécommunications militaires ou civils si une réelle attaque visait une constellation de satellites opérationnelle.

LE CHOIX DU MOMENT

L'attaque contre le satellite Ka-Sat – satellite en orbite géostationnaire fournissant une couverture internet haut débit en Europe et Afrique du Nord – du réseau ViaSat (un très gros fournisseur de connectivité haut débit en bande Ka) le 24 février, quelques heures avant l'invasion de l'Ukraine par la Russie, n'a pas été de l'ordre de l'exercice.

L'opération a été double. D'abord, le satellite a été ciblé sur sa capacité par une attaque par déni de service depuis des modems situés en Europe de l'Est. L'attaque a consisté à surcharger la capacité du réseau pour l'empêcher de fournir de la connectivité aux utilisateurs légitimes. ViaSat a observé une diminution de la capacité du réseau, mais ensuite l'opérateur a aussi observé une déconnexion de nombreux modems d'utilisateurs, conséquence de la seconde attaque. Lors de cette seconde attaque, les hackeurs ont réalisé une intrusion à distance – *via* un problème de configuration d'un VPN (d'un réseau privé virtuel) – du système de gestion du réseau satellite qui permet de d'exécuter des commandes légitimes sur le modem des utilisateurs. Les attaquants ont alors effacé les clés de connexion au réseau de milliers de modems d'utilisateurs, les empêchant de se reconnecter.

> « L'exemple de Ka-Sat est un rappel que l'espace n'est plus un milieu tranquille et neutre, mais bien un théâtre d'opérations. Les moyens d'organisation du domaine spatial et les stratégies seront-ils suffisants en cas d'attaques massives ? »

> « Cet exemple de Ka-Sat est un rappel que l'espace n'est plus un milieu tranquille et neutre, mais bien un théâtre d'opérations , les moyens d'organisation du domaine spatial et les stratégies seront-ils suffisants en cas d'attaques massives ? »

> « L'attaque contre le satellite Ka-Sat le 24 février, quelques heures avant l'invasion de l'Ukraine par la Russie, n'a pas été de l'ordre de l'exercice. »

L'opérateur assure pour autant que l'intégrité du satellite, des modems ou des données utilisateurs n'a pas été atteinte. En conséquence de ces deux attaques, l'accès aux services internet et de télécommunications fournis par l'opérateur ViaSat a été interrompu. En Ukraine, ce sont des milliers d'utilisateurs, des services publics et probablement des services de l'État qui ont été isolé du réseau.

BILAN

Les conséquences ont dépassé la simple connectivité internet d'utilisateurs du pays attaqué pour toucher également des services fournis en Europe occidentale, à des milliers de kilomètres du front. Il y a l'exemple d'un parc éolien allemand qui, faute de connectivité avec sa centrale de commande, s'est mis à l'arrêt par sécurité.

Dans les jours qui ont suivi, les attaques cyber contre les réseaux de satellites ont continué, comme l'a reconnu l'entreprise SpaceX (concepteur de la constellation Starlink), qui après avoir fourni de la connectivité internet aux forces ukrainiennes à partir du 27 février a commencé à subir une série d'attaques qui, heureusement, n'ont pas abouti.

Il n'empêche que cet exemple de Ka-Sat est un rappel que l'espace n'est plus un milieu tranquille et neutre, mais bien un théâtre d'opérations dont l'importance ne va qu'en augmentation avec la plus grande dépendance de nos activités terrestres aux systèmes spatiaux.

Les acteurs de la télécommunication spatiale prennent en compte ces menaces dans les nouveaux systèmes qui sont développés à base de 5G ou de cryptographie quantique.

Les États organisent leur défense pour garantir leur souveraineté sur les télécommunications spatiales avec la multiplication ces dernières années dans les états-majors de « commandements pour l'espace », comme en France en 2019 avec le CDE (Commandement de l'espace). Cependant, les moyens d'organisation du domaine spatial et les stratégies seront-ils suffisants en cas d'attaques massives ? La question se pose d'autant plus que les télécommunications, qu'elles soient étatiques – à l'exemple de la constellation européenne souveraine Iris2 – ou civiles, reposeront de plus en plus sur des constellations de satellites dans la décennie qui arrive. ■

***FLAVIEN RONTEIX--JACQUET est ingénieur de recherche système télécom par satellite.**

CONSTRUIRE UNE ALTERNATIVE AUX GAFAM ET AUTRES EN FRANCE ET EN EUROPE

En quoi construire une alternative aux GAFAM et autres plates-formes hégémoniques, tels que NATU ou BATX en France et en Europe est-il nécessaire ? Est-ce possible ? Dans la situation de dépendance actuelle de la société française et européenne, il existe néanmoins des pistes réalistes et concrètes qui nous permettraient de recouvrer notre indépendance.

PAR SYLVAIN DELAITRE*

Parce que nous avons besoin de souveraineté numérique, notamment dans les domaines de la défense, de la protection des données individuelles (santé) ou industrielles, de la distribution d'énergie, de la sécurité de nos approvisionnements, construire une alternative aux GAFAM est une nécessité. Ni chauvinisme ni autarcie, la souveraineté est ce qui nous permet l'indépendance à l'heure des choix. Même notre DGA (ministère des Armées) se rallie à ce concept, avec son Agence du numérique.

Or, force est de constater que, en matière numérique, il y a longtemps que nous n'avons plus le choix. Même les options de type Open Source, encore possibles il y a quinze ans, ont presque disparu du fait des politiques conduites sous les présidences Sarkozy, Hollande, Macron. En particulier, c'est le Sarkozy ministre de l'Intérieur qui a imposé aux gendarmes d'abandonner les logiciels libres, et ce au profit de Microsoft.

Les timides tentatives de créer un *cloud* européen, Andromède, ont échoué en 2012, mais la question est revenue en force en 2022, avec les déclarations du commissaire européen – et ancien P-DG d'Atos – Thierry Breton.

SORTIR D'UNE DÉPENDANCE

Il est à noter que les applications industrielles de l'IA sont presque toutes états-uniennes, alors que parmi les inventeurs et les chercheurs du domaine on compte un grand nombre de Français.

Les grands groupes institutionnels (administrations, banques, distributeurs d'énergie…) comme les monopoles régaliens (diplomatie et défense, sécurité intérieure, souveraineté économique et fiscale…) ou de la défense aérospatiale européens sont obligés de passer des partenariats avec les GAFAM pour construire leur *cloud* « de confiance », terme complètement antinomique dans la circonstance. Pis, dans le domaine de la défense, le seul capable de traiter les données massives de maintenance ou d'usage semble être Palantir, très lié à la National Security Agency (NSA) états-unienne.

Tout sauf de la souveraineté, donc ? Il est grand temps de reconstruire, avant qu'il ne soit trop tard, des filières industrielles qui nous redonnent une forme d'autonomie dans le domaine du numérique. Est-ce possible ? Oui, mais il faut aller vite ! Et d'abord il faut sauver et conserver l'existant.

La France et, au-delà, l'Europe possèdent encore de belles pépites technologiques, et ont aussi l'avantage d'une recherche universitaire et académique encore significatives sur les sujets qui touchent au numérique.

Il faut concevoir et mettre en œuvre un plan de sauvegarde de l'industrie du numérique en Europe, et donc en France – STMicroelectronics, CEA, Soitec (pour les substrats) –, renforcer les coopérations qui fonctionnent, comme celles avec les Italiens dans le cas de STMicroelectronics, épauler les fondeurs et les fabricants de masques servant à graver les puces pour la microélectronique. Puis, reconstruire des filières industrielles, au-delà des simples start-up, qui, elles, sont trop souvent rachetées par des concurrents, états-uniens ou autres. Le financement des start-up, dites aussi *licornes*, doit déboucher sur des créations industrielles, implantées sur nos territoires, avec le développement de l'emploi et des compétences sur place.

> « Force est de constater que, en matière numérique, il y a longtemps que nous n'avons plus le choix. »

> « D'abord il faut sauver et conserver l'existant. Il nous faut dresser un inventaire de nos impasses et lacunes dans les technologies critiques. »

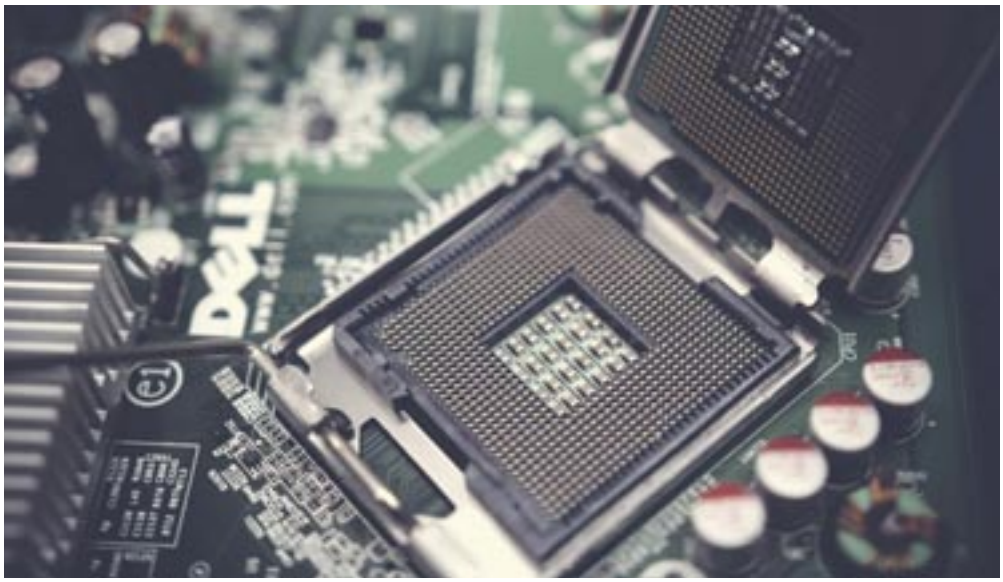
Pour construire une stratégie de reconstruction industrielle, Il nous faut dresser un inventaire de nos impasses et lacunes dans les technologies critiques, en particulier concernant :

– l'observation spatiale ;
– le renseignement et l'écoute électromagnétique ;
– les drones d'observation et d'endurance ;
– Galileo, le système de navigation par satellite européen, qu'il faut terminer et renforcer ;
– les centrales inertielles (s'affranchir de l'ingérence états-unienne) ;
– l'application des nouvelles technologies quantiques, dont intrication, pour l'augmentation de nos capacités de détection (radars hyperfréquences, sonars, lidar…) ;
– le *cloud* souverain militaire.

PERSPECTIVES

Des voies réalistes vers une reconstruction existent. Elles demandent une volonté politique qui les rende

concrètes. Nous les présentons ci-après sous forme de préconisations.
1. Mettre en place une stratégie pour la France et l'Europe engageant notamment la BPI, le plan France 2030, la recherche européenne, des fonds structuraux… pour maintenir le fonds technologique encore indépendant, le défendre contre les OPA et réaliser une veille technologique active pour acquérir les pépites et start-up émergentes en Europe, au minimum, avec un contrôle capitalistique ou une minorité de blocage.
Le fonds technologique peut rester abordable en matière de financement, surtout si on supprime par ailleurs les aides automatiques, de type CIR ou CICE, aux grands groupes capitalistiques !
Pour que cela s'inscrive dans la durée, ce fonds devra être sous contrôle démocratique, avec une transparence parlementaire et des collectivités locales (subventions, incitation à la relocalisation, fin des aides sans résultats ou sans contraintes sur les actionnaires…).
2. Définir une stratégie par grandes filières (composants, câbles et constellations de satellites, logiciels, plates-formes, serveurs, *big data*, IA, simulation numérique et HPC…) en réponse aux besoins et enjeux sociétaux : défense et indépendance vis-à-vis des empires, changement climatique/adaptation, santé, agro-alimentaire, logistique et transports, matériaux…



La France et, au-delà, l'Europe possèdent encore de belles pépites technologiques, et l'avantage d'une recherche universitaire et académique encore significatives.

Pour cela, il faut réactiver un vrai Commissariat au plan, démocratiser le fonctionnement du Conseil national de l'industrie et de ses comités stratégiques de filières. Et coupler cette stratégie aux axes de financement de R&D, en France et en Europe.
3. Aider les industriels de la défense et autres fonctions régaliennes, dont la sécurité, à se passer des outils états-uniens ou chinois, notamment en géolocalisation (alternative au GPS, centrales inertielles), stockage massif (*clouds* indépendants) et en traitement type *big data* (alternative à Palantir), tout en y intégrant des contraintes sur la consommation énergétique des moyens de stockage et de calcul – le critère d'efficacité doit remplacer le critère d'optimisation financière – et des contraintes sur la relocalisation des emplois
4. Reconstruire une économie numérique de tout un chacun, à partir des logiciels libres et des plates-formes indépendantes, en mettant fin à l'hégémonie d'Alphabet Inc. (Google et consorts) sur l'accès à l'information et à la connaissance : moteurs de recherche, indexation des sites, enchères sur profils et données personnelles…
Cela demande de proposer des alternatives à Meta Platforms (Facebook et autres) en concevant et en mettant en œuvre des règles démocratiques pour les réseaux sociaux non asservis à la publicité ou au temps de connexion. Il faudra en particulier supprimer les systèmes d'enchères et de vente d'informations. Cela revient en quelque sorte à retrouver l'esprit pionnier d'Internet.
Enfin, une démarche démocratique devrait conduire à réguler l'IA et les algorithmes automatiques de profilage (obligation d'explicabilité des algorithmes, suppression des biais, vérification des bases et méthodes d'apprentissage, citation des sources, authentification des vidéos…), à réguler le streaming débridé et à réfléchir aux stratégies alternatives à la 5G généralisée. ■

> « Les grands groupes institutionnels comme les monopoles régaliens ou de la défense aérospatiale européens sont obligés de passer des partenariats avec les GAFAM pour construire leur *cloud* « de confiance ». »

L'EXEMPLE DE THALES

Pendant une décennie, le groupe a mené une politique d'acquisitions stratégiques dans le domaine de la cybersécurité et des *big data*.

2012 Acquisition de In-Flight Entertainment : accès aux données passagers *via* la connectivité en vol.

2014 Achat de Vormetric (États-Unis) : logiciels de protection des données et des applications.

2017 Achat de Guavus (États-Unis) : analyse de données massives en temps réel.

2019 Achat de Gemalto (ex-Gemplus), société néerlandaise, mais groupe mondial, avec des implantations souveraines aux États-Unis, pour 4,8 Md€.

2020 Achat d'une pépite suisse.

2022 Achat de deux pépites : la luxembourgeoise Excellium et la néerlandaise OneWelcome, pour un total de120 M€.

2023 Achat en cours de l'australien Tesserent CyberSecurity (et NZ), et d'Imperva (États-Unis), pour 3,4 G€.

Sachant que, dans l'état actuel de nos filières industrielles du numérique, Thales n'a guère d'autre choix que cette stratégie d'acquisition sans garantie absolue sur le caractère souverain de la maîtrise de l'outil, pourquoi être si critique ?
Parce que, sur le fond, le choix est fait de privilégier l'alliance avec les États-Unis. La preuve en est l'accord passé avec Microsoft Azure pour les *clouds* dans le domaine de la défense (certes, Airbus ose faire pis encore, par son alliance directe avec Palantir !)
Tout cela, sur fond de guerre franco-française entre Thales et Atos (pas d'accords stratégiques sur le sujet cyber ou *cloud* souverain) et d'absence de coordination européenne entre les grands de l'aérospace (Airbus, Safran, Dassault System…) dans le domaine de la cybersécurité et des *clouds* de défense.

***SYLVAIN DELAITRE est ingénieur-chercheur, membre du Conseil supérieur de la réserve militaire et de la CGT Métallurgie.**

LES LANCEURS DE SATELLITES, OUTILS DE NOTRE SOUVERAINETÉ

Dans les années 1960, l'État français s'est positionné pour maîtriser son propre accès à l'espace. De la recherche à la construction industrielle, la filière spatiale s'est construite avec une stratégie nationale et des budgets dédiés. Désormais, alors que les satellites sont devenus indispensables, la France n'est plus en position de décideur dans ce domaine.

PAR PIERRE GIACOMINI*

Le domaine spatial est devenu une composante essentielle de la souveraineté, de la sécurité et de la puissance de la France. Cela tient en grande partie à l'étude et à la construction du lanceur Ariane (Ariane 5 aujourd'hui, Ariane 6 demain).

L'Agence spatiale européenne (ESA), fondée en 1975 et dont la France et l'Allemagne sont les principaux contributeurs financiers, a pour mission de développer et coordonner la coopération entre les États européens (vingt pays membres) pour concevoir et mettre au point les lanceurs et installations au sol dont l'Europe a besoin pour être autonome dans le domaine spatial. C'est ainsi que l'Europe a pu assurer la mise en orbite de satellites civils, scientifiques et militaires.

Grâce à la coopération entre États, l'Europe s'est doté d'un lanceur et a pu assurer la mise en orbite de satellites civils, scientifiques et militaires.

POURQUOI UNE POLITIQUE SPATIALE ?

Au niveau civil, nous avons quotidiennement recours à des services et à des informations – Internet, GPS, météo… – pour lesquels les satellites sont indispensables. À la différence des antennes hertziennes, qui sont limitées en bande passante, les dispositifs embarqués par les satellites permettent le transfert de volumes importants de données numériques. Aussi peuvent-ils être utilisés pour les voitures et autres objets connectés, pour la surveillance des océans (prévention des tsunamis, entre autres), de la planète (réchauffement climatique, tremblements de terre…) ; les agriculteurs peuvent avoir des informations « pointues » pour l'exploi-

tation de leurs domaines (plantations idoines selon l'exposition du terrain…). Par ailleurs, ils sont devenus un outil indispensable pour prévenir et combattre les feux de forêts. Quant à la défense du pays, ils permettent la surveillance d'intrusion terrestre et aérienne dans son espace national, le guidage des sous-marins, bateaux, avions, drones.
Pour préparer le passage du numérique au *big data* (voiture autonome, gestion de flux logistiques, données de santé, Internet mobile en zones blanches, etc.) par transmission satellitaire, la France et l'Europe doivent avoir la capacité de mettre en œuvre leur propre dynamique si elles ne veulent pas être dépendantes dans ce domaine, vital pour la liberté et la sécurité.
Ne pas maîtriser notre accès à l'espace reviendrait à être dépendant d'un tiers, qui pourrait alors espionner nos données. Notre souveraineté va donc de pair avec la maîtrise de nos propres lanceurs. À l'heure actuelle, les acteurs principaux du spatial sont les États-Uniens, les Chinois, les Russes et les Indiens.

> Pour préparer le passage du numérique au *big data* par transmission satellitaire, la France et l'Europe doivent avoir la capacité de mettre en œuvre leur propre dynamique si elles ne veulent pas être dépendantes dans ce domaine.

LES LANCEURS EN EUROPE

Le développement et la construction des lanceurs Ariane débutent dans les années 1970. Actuellement, c'est Ariane 5 qui est en service. Elle peut emporter des satellites d'une masse pouvant atteindre 13 t, alors que Vega (italien) ne peut emporter que 3 t et Soyouz (Russe) 2,5 t.
Or une structure où le secteur public pilote des programmes européens d'accès à l'espace était devenue insupportable aux industriels. Aussi en 2014 Airbus Group, Safran (maître d'œuvre du lanceur Ariane et du missile stratégique M) menèrent une action de lobbying en vue de convaincre les États d'opérer un changement profond de gouvernance.
En se pliant à la volonté des lobbyistes, les gouvernements ont organisé l'abandon de la souveraineté de l'Europe sur son accès à l'espace.

> En se pliant à la volonté des lobbyistes, les gouvernements ont organisé l'abandon de la souveraineté de l'Europe sur son accès à l'espace.

Les industriels veulent évidemment les aides – par exemple un budget prévisionnel de 8 Md€ sur dix ans pour le programme Ariane 6 et le soutien à l'exploitation d'Ariane 5 –, mais ils ne veulent pas de contrainte : pour eux, pas question de supporter les risques ni accepter un contrôle de l'argent public qui les empêcherait de l'employer, en partie tout au moins, à rémunérer des actionnaires.
En 2014, le regroupement des activités spatiales civiles et militaires d'Airbus et Safran était effectué au sein d'une même entreprise, ArianeGroup, détenue à parts égales par Airbus et par Safran.

LA FRANCE ET L'EUROPE SANS CAPACITÉ D'ALLER DANS L'ESPACE ?

Aujourd'hui, la France et l'Allemagne, mais aussi l'Italie, la Grande-Bretagne, la Suisse, la Suède, l'Espagne et les Pays-Bas sont partenaires d'Ariane 5.
En 2014, les nouveaux actionnaires d'Ariane proposaient de produire un lanceur 2 fois moins cher et dans un temps record… Un lanceur Ariane 6 *low cost* pour concurrencer SpaceX ! Une version à 50 millions de dollars et une autre à 90 millions… Nous en sommes très loin !
Les États refusant de maintenir en parallèle deux chaînes de montage, la fin du programme Ariane 5 est programmée pour la fin d'année 2023. Seulement, Ariane 6, qui devait faire son premier vol en 2020, rencontre plusieurs problématiques techniques. Le premier vol pourrait avoir lieu en mars 2024.

> En 2014, les nouveaux actionnaires d'Ariane proposaient de produire un lanceur Ariane 6 *low cost* pour concurrencer SpaceX.

La guerre en Ukraine a mis fin à l'accord Europe-Russie qui permettait de faire quelques lancements sur le

lanceur Soyouz. La possibilité de mise en orbite de petits et moyens satellites avec le lanceur italien Vega est aussi tombée du fait de la guerre en Ukraine, pays qui fabriquait des ensembles de la fusée Vega.

DES RELATIONS POLITIQUES TENDUES

Depuis trois ans, l'Allemagne est devenue le premier financeur de la fusée Ariane et demande le transfert de productions sur son sol. Le gouvernement Macron laisse faire, et une première partie va être transférée de l'usine ArianeGroup de Vernon (Eure) vers l'Allemagne ; et d'autres transferts sont à l'étude.
À ce rythme, la France risque d'être dépouillée de son industrie spatiale civile et de ne rester qu'avec celle de défense pour construire le missile stratégique M à un prix qui s'enflammera, ne bénéficiant plus de l'effet volume de la partie civile. Ce sont des milliers d'emplois qui sont menacés : la moitié des 8 000 emplois directs d'ArianeGroup.
Impératif : l'État doit reprendre la main et redevenir décideur et maître d'œuvre des projets spatiaux. Le financement doit donc être mis sous contrôle : donner des pouvoirs aux CSE et aux députés ; où va l'argent et à quoi il sert ?
Rappelons, pour terminer, que le PCF a sans cesse demandé, avec les représentants des salariés des entreprises concernées, la mise en place d'un pôle public Défense et Spatial qui pourrait regrouper toutes nos entreprises sensibles comme celles du spatial… ■

***PIERRE GIACOMINI** est délégué syndical central CGT à ArianeGroup.

RIVALITÉS GUERRIÈRES DANS L'ESPACE

Des traités internationaux définissent l'espace comme un lieu de non-agression, voire de coopération et de non-exploitation des ressources à des fins privées, et ce sous haut contrôle des gouvernements pour des opérations de recherches. Or l'espace est peu à peu devenu un domaine de conflictualité sur lequel lorgnent les acteurs privés.

PAR NICOLAS DEVERS-DREYFUS*

Banalité que d'observer la place que l'espace extra-atmosphérique a conquise dans les activités humaines, civiles comme militaires, avec pour conséquence de nouvelles rivalités géopolitiques entre un nombre croissant d'acteurs. Ceux-ci investissent dans une économie d'infrastructures : lanceurs et satellites de tous types, mais aussi dans une économie de la donnée.

Géolocaliser du simple randonneur au missile de croisière, observer de l'agriculteur au militaire, renseigner, communiquer *via* de grands réseaux devenus vitaux comme l'Internet…, l'espace est le nouveau champ du quotidien.

Elle est bien loin cette fin des années 1950 où les précurseurs, Soviétiques et États-Uniens, travaillaient sous l'égide des Nations unies à codifier les règles d'irruption de l'homme au-delà de la Terre, sa planète d'origine. La démarche a, schématiquement, donné lieu à deux traités internationaux dont les prolongements – au fur et à mesure que des cas concrets, réels ou virtuels, interpellent le droit – font l'objet de controverses, parfois de nouvelles ententes.

LE TRAITÉ SUR L'ESPACE

Étudié puis établi sous l'égide de l'ONU à l'époque où États-Uniens et Soviétiques se lançaient dans l'exploration de l'espace et à la conquête de la Lune, le traité sur l'espace entre en vigueur en octobre 1967, signé par les États-Unis, l'URSS et le Royaume-Uni, rejoints par la France en 1970.

Ce traité international donne aux États liberté d'accès à l'espace extra-atmosphérique. Il concerne aussi bien son exploration que son exploitation et son utilisation. Mais, surtout, il interdit la mise en orbite d'armes nucléaires et de toute autre arme de destruction massive, leur installation sur la Lune ou un autre corps céleste ainsi que leur stockage hors de l'atmosphère. Il limite l'utilisation de la Lune et de tout autre corps céleste à des fins exclusivement pacifiques, et en interdit l'usage pour tester des armes, conduire des manœuvres militaires, établir des bases militaires, des installations ou des fortifications. Les gouvernements terriens ont de plus l'interdiction de s'arroger la propriété de ressources lunaires, stellaires ou venant de toute autre planète.

Les États s'obligent par ailleurs à prêter assistance aux astronautes, quelle que soit leur nationalité.

Le traité institue la responsabilité des États pour les activités engagées dans l'espace extra-atmosphérique non seulement par des organismes gouvernementaux, mais aussi par des entités non gouvernementales, faisant en ceci exception aux règles habituelles du droit international. Il prescrit que les activités non gouvernementales dans l'espace, comprenant la Lune et les corps célestes, doivent obtenir l'autorisation préalable, puis être surveillées en permanence par l'État membre concerné, lequel État est également responsable des dommages causés par le lancement d'un objet dans l'espace.

LE TRAITÉ SPÉCIFIQUE SUR LA LUNE

Établi en 1979, prolongeant le précédent, le traité sur la Lune stipule que « *la Lune et ses ressources naturelles constituent le patrimoine commun de l'humanité* ». Donc la Lune ne peut être utilisée qu'à des fins pacifiques et toute activité doit y être conforme aux lois internationales et à la Charte des Nations unies. Or ce traité n'est pas considéré comme bien utile : selon le Bureau des affaires spatiales des Nations unies, il n'a été ratifié que par dix-huit pays, et aucun d'entre eux n'a de programme spatial. Tout comme l'Inde, devenue en août 2023 la quatrième nation à réussir l'atterrissage en douceur d'un vaisseau spatial sur la Lune, la France, le Guatemala et la Roumanie l'ont signé, mais sans le ratifier. Les États-Unis, la Russie et la Chine ne l'ont jamais signé.

> « Le traité sur l'espace interdit la mise en orbite d'armes nucléaires et de toute autre arme de destruction massive, leur installation sur la Lune ou un autre corps céleste ainsi que leur stockage hors de l'atmosphère. »

On ne s'étonnera pas que le contrôle de la propriété privée soit contesté, pour le moment sans aboutir, par ceux qui prétendent vendre des titres de propriété sur la Lune ou autres planètes. Le Space Act (loi sur l'espace) des États-Unis détourne l'esprit du traité en autorisant leurs entreprises à s'emparer des ressources extraites dans l'espace, sans pour autant privatiser celui-ci.

En 2020, les États-Unis annoncent la signature des Accords Artemis ; en fait une déclaration signée depuis par de nombreux pays, dont la France en 2022, mais ni par la Chine ni par la Russie. Elle vise à ramener les humains sur la Lune en 2025 et à donner un nouvel élan à la conquête spatiale. Une de ses clauses est controversée : la création de « zones de sécurité », car on peut y voir, peut-être à raison, un moyen de privatiser l'exploitation de ressources lunaires.

Le traité sur l'espace donne aux États liberté d'accès à l'espace extra-atmosphérique. Il concerne aussi bien son exploration que son exploitation et son utilisation.

NOUVEAUX RISQUES

Lorsqu'en 1957 débute l'ère spatiale, on n'avait aucune inquiétude sur ce qu'il aurait fallu faire des satellites arrivés en fin de vie. Depuis, des monceaux de déchets encombrent l'espace, devenu une gigantesque poubelle : plus de 10 000 t de déchets estimés, peut-être 40 000 objets de plus de 10 cm menacent de collision les satellites en orbite, eux-mêmes de plus en plus nombreux. Morceaux de fusée chinoise tombant aux Philippines, vieux satellites inactifs, débris volants d'objets spatiaux qui prolifèrent constituent une pollution à haut risque, notamment en orbite basse, déjà très encombrée. Voilà qui, à moyen terme, constitue une réelle menace pour la pérennité des opérations spatiales.

Il y a donc urgence à réglementer, en appliquant le bon vieux principe du pollueur payeur. Car il incombe désormais non seulement aux États et à des agences, mais aussi aux entreprises privées qui investissent l'espace, d'éviter les collisions en localisant les débris, en mettant en œuvre le nettoyage des déchets par des techniques innovantes qui ont déjà été expérimentées.

> « Ce traité n'est pas considéré comme bien utile : selon le Bureau des affaires spatiales des Nations unies, il n'a été ratifié que par dix-huit pays, et aucun d'entre eux n'a de programme spatial. »

L'Agence spatiale européenne, en partenariat avec la NASA, étudie comment nettoyer l'espace, bien commun qu'il s'agit de préserver.

Sur le plan de la prévention, les Nations unies ont émis des recommandations internationales pour limiter la prolifération des débris. Les satellites ont désormais une durée de vie maximale de 25 ans, après quoi ils doivent être détruits dans l'atmosphère terrestre ou mis à la retraite sur une orbite dite « de parking ». Ces règles ne sont pas contraignantes, mais il semble qu'elles sont aujourd'hui respectées.

Dépolluer l'espace : un défi à relever. En 2026, une mission de nettoyage à l'aide d'une pince attrape débris, imaginée par la start-up Clearspace sera lancée par l'Agence spatiale européenne : préfiguration d'une activité constante de récupération ou de traitement des déchets spatiaux.

LA MALADIE DE LA PRIVATISATION

La NASA, fidèle au credo libéral de son pays, encourage les initiatives du secteur privé, moyen pour elle de se concentrer sur ses objectifs prioritaires et de préparer l'après-SSI, la coûteuse Station spatiale internationale. Ainsi, la firme d'Elon Musk a pu lancer en 2022 une capsule avec quatre personnes à bord, la première mission touristique à destination de l'SSI.

Pis, la privatisation de la guerre sévit également dans l'espace. La constellation de satellites Starlink du multimilliardaire états-unien est mise, non sans péripéties, au service de la communication et du renseignement des forces armées ukrainiennes. On mesure les conséquences de confier à des particuliers une part aussi stratégique de la communication militaire, résiliente aux cyberattaques en temps de guerre.

Dans le *New Yorker* du 21 août 2023, le journaliste Ronan Farrow publie une longue enquête révélant les raisons de la volte-face d'Elon Musk. Dans les débuts de la guerre, il met à la disposition de l'Ukraine ses satellites, positionnés au-dessus du territoire, qui fournissent à tout le pays une connexion internet. Connecté à une myriade de paraboles au sol, le réseau de liaison décentralisée à courte portée est pour la Russie difficile à démanteler.

Mais les affaires sont les affaires : afin de préserver les intérêts de ses sociétés en Russie et en Chine, Elon Musk coupe dans un deuxième temps le réseau… Depuis, la mobilisation de la communauté ukrainienne aux États-Unis, les contrats avec les agences de l'État et les gouvernements européens conduisent en juin à un nouvel accord avec le Pentagone. ▶

▶ Cela lui permet de financer et d'installer des milliers de satellites Sartlink au-dessus de l'Ukraine, essentiels pour les communications de l'armée. Mais jusqu'à quand ?

LA MILITARISATION DE L'ESPACE : NOUVEAUX ENJEUX

Aux rivalités géopolitiques, scientifiques et économiques s'ajoute la lutte pour la domination des réseaux, comme en témoigne la difficile naissance de Galileo (le système européen de positionnement par satellites). Une naissance entravée par les États-Unis hostiles à l'indépendance technologique de l'Europe, jusqu'à ce qu'un accord, en grande partie secret, soit conclu, discriminant les signaux militaires états-uniens. Ainsi se trouve réalisée, en dépit des traités, la militarisation de l'espace dans des domaines qui n'avaient pas été prévus.

Le spatial est devenu un champ de bataille, sous tous ses aspects : recueil de renseignements ; appui direct, par la précision de l'imagerie, aux opérations terrestres et navales ; détection sous-marine couplée aux bouées immergées ; constitution de données géographiques de référence ; écoute électromagnétique de l'espace, télécommunications spatiales, systèmes spatiaux de positionnement-navigation-datation (désignés par le sigle PTN [*positioning, navigation and timing*]) permettant les frappes de précision ; systèmes d'alerte antimissiles balistiques, de détection des explosions nucléaires ; surveillance de l'espace et actions diverses dans l'espace.

Corrélativement, pour un État, maîtriser les technologies des satellites est inutile s'il ne dispose pas de moyens autonomes de mise sur orbite, de l'accès souverain à l'espace. Aussi, l'évaluation exacte de l'ordre de bataille spatiale d'un adversaire potentiel est devenue un besoin primordial, au même titre que la connaissance de ses arsenaux terrestres, maritimes ou aériens.

DES ARMES DU SOL VERS L'ESPACE

Sans doute les principales puissances préparent-elles des armes à placer sur orbite afin, en cas de crise, de détruire, perturber, aveugler les réseaux adverses *via* des petites munitions nucléaires ou des armes laser, voire à frapper de l'espace vers la terre et la mer.

Et c'est d'abord la réalisation d'armes sol-espace, qui commencent à être opérationnelles.

Le programme européen TALOS

L'Agence européenne de défense (AED, ou EDA pour European Defense Agency) a annoncé la réussite du programme de système optique laser tactique avancé TALOS (Tactical Advanced Laser Optical System) par un ensemble de collaborateurs européens. Le dernier acte du programme lancé dans le cadre de l'action préparatoire de la Commission européenne sur la recherche en matière de défense s'est déroulé le 23 mai 2023 : l'AED en annonça la réussite. Technologie qualifiée de « critique » par l'AED, les systèmes de défense laser sont développés par un nombre croissant d'États. Les États-Unis sont impliqués notamment dans un programme de défense aérienne nommé High Energy Laser Scaling Initiative (HELSI) développé par Lockheed Martin. Israël, de son côté, a développé l'Iron Beam, un rayon laser de 100 kW pour la défense antidrone et anti-RAM. La France, enfin, n'est pas en reste puisque l'ONERA travaille sur une arme laser destinée à aveugler les satellites ennemis, programme s'ajoutant notamment au HELMA-P (High Energy Laser for Multiple Applications - Power).

> « Pour un État, maîtriser les technologies des satellites est inutile s'il ne dispose pas de moyens autonomes de mise sur orbite, de l'accès souverain à l'espace. »

Chine : un rayon laser vise les satellites espions

Dans le Xinjiang occidental, le mystérieux complexe de Korla fait l'objet de spéculations intensives. Les dernières images satellites révèlent que la Chine pourrait construire des lasers terrestres antisatellites, des armes conçues pour protéger ses précieux satellites militaires des regards indiscrets des satellites espions étrangers. Les images de BlackSky, une société de renseignements géospatiaux, montrent deux lasers orientables logés dans des hangars aux toits rétractables qui s'ouvrent autour de midi solaire, lorsque les satellites d'imagerie étrangers sont les plus actifs.

Le rapport révèle que le site de Korla, construit en 2003 et géré par l'unité 63655 de l'Armée populaire de libération-Force de soutien stratégique (PLA-SSF), abrite des lasers antisatellites massifs proches de la taille des armes montées sur des navires. Dans un article récent, Eli Hayes indique que le programme de lasers antisatellites de la Chine pourrait déjà avoir deux décennies, une hypothèse corroborée par des images satellitaires du site de Bohu, dans le Xinjiang, qui a peut-être été construit en 2002 et est devenu opérationnel en 2004.

La nouvelle arme des superpuissances

Selon un article du *Journal of Physics : Conférence Series* de 2020, un laser terrestre peut cibler avec précision des points spécifiques sur les satellites en orbite terrestre basse pour les désactiver ou les détruire par des dommages thermiques. Les superpuissances spatiales comme la Chine, la Russie et les États-Unis ont largement testé les lasers antisatellites et possèdent désormais des capacités opérationnelles préliminaires. Cependant, la difficulté d'attribuer une attaque au laser sur un satellite en orbite à plusieurs kilomètres au-dessus de la Terre et se déplaçant à des milliers de kilomètres par heure ajoute une complexité supplémentaire à la situation.

Mais, nouveau risque : le fait que les interférences avec les satellites, en particulier ceux destinés à la défense antimissile, puissent être interprétées comme le prélude d'une attaque nucléaire, entraînant une escalade involontaire.

DAVID ET GOLIATH : LE COMMANDEMENT FRANÇAIS DE L'ESPACE

Les États de l'Union européenne se rangent de plus en plus non seulement sous le parapluie nucléaire états-unien, mais aussi sous la domination militaire américaine, *via* l'OTAN ou des ententes bilatérales de défense. L'industrie de l'armement des États-Unis, à l'instar des sociétés pétrolières et gazières du grand « frère », en est la grande bénéficiaire, engrangeant

de gigantesques commandes et de juteux profits. Pour la période, il n'y a donc rien à attendre d'une défense européenne autonome.
Toutefois, quelles que soient les contradictions de la politique internationale d'Emmanuel Macron et de ses deux prédécesseurs, avec au final leur sujétion à l'imperium américain en rentrant dans le rang des membres de l'OTAN, la création en 2019 du Commandement de l'espace, comme la création en 2017 du Comcyber donnent à la France les conditions d'une autonomie stratégique et d'une défense spatiale renforcée… pour autant que, bannissant les habituels renoncements, une volonté politique nouvelle soit au rendez-vous.
La force, la crédibilité de ce commandement, aux moyens très inférieurs à ceux des structures comparables états-uniennes, chinoises et russes, c'est de s'appuyer sur les compétences de la recherche et de l'industrie spatiale nationale, de l'ONERA, des capacités reconnues de Thales à relever le défi de la guerre électronique, de la constellation de PME qui gravitent autour des grands tels que Safran, Airbus Espace.

> « La privatisation de la guerre sévit également dans l'espace. La constellation de satellites Starlink du multimilliardaire états-unien est mise, non sans péripéties, au service de la communication et du renseignement des forces armées ukrainiennes. »

> « la France les conditions d'une autonomie stratégique et d'une défense spatiale renforcée... pour autant que bannissant les habituels renoncements une volonté politique nouvelle soit au rendez-vous. »

Cela va permettre, par exemple de déployer en 2024 ou 2025 les nanosatellites du programme YODA (Yeux en orbite pour démonstrateur agile) ainsi que le programme OMEGA (Opération de modernisation des équipements GNSS des armées) afin de protéger les satellites français de communication militaire, de commandement ou de navigation, et de se prémunir contre le brouillage ou l'usurpation des signaux de géolocalisation satellitaires. États-Uniens et Russes pratiquent déjà de telles intrusions, comme on l'observe dans la guerre en Ukraine, en mer d'Azov et lors des exercices de l'OTAN en mer Baltique.
C'est aussi la mise en service à bas coût du radar Graves (Grand Réseau adapté à la veille spatiale) installé sur le plateau d'Albion, système de détection des satellites évoluant en orbite basse, donnant la connaissance de la situation spatiale sur toutes les orbites et le développement d'une capacité de défense active dans l'espace ; le système est en cours de modernisation. La France a accepté de garder secrets les renseignements sur les satellites espions que Graves a permis de repérer. En échange, les États-Unis ont accepté la réciprocité sur les renseignements collectés par les satellites militaires français.
On le voit, l'espace, bien commun de l'humanité, est pourtant devenu un domaine de conflictualité à part entière. La France y tient sa place. On est bien loin de le considérer comme un univers de paix. Chaque année, on contourne un peu plus l'esprit des traités originels. Cela appelle certainement de nouvelles initiatives dans le sens de la coopération pacifique et du désarmement. Un chantier universel à entreprendre d'urgence avant de probables catastrophes pour la planète et ses habitants. ■

***NICOLAS DEVERS-DREYFUS ancien auditeur de l'IHEDN, est membre de la commission Défense, Paix, Désarmement du PCF.**

NOTIONS ET ÉTAPES CLÉS DU NUMÉRIQUE ET DU CYBERESPACE

PAR SYLVAIN DELAITRE*

Qu'est-ce que le numérique ?
Numérique, voilà un terme bien mal choisi pour désigner un domaine assez jeune. Les mathématiciens ne pratiquent-ils pas le « numérique » depuis des millénaires ? Mais, passons, je garderai ce terme, par défaut… Personnellement, j'aurais préféré *convergence* ou *connectivité informationnelle*.
En fait, cette notion renvoie à un problème de format, de norme, qui permet l'interopérabilité, afin d'échanger des informations entre les différents « systèmes ».
L'arrivée du numérique vient d'une longue évolution, avec des transformations rapides, telles que :
– la machine de Turing (concept des années 1940) et des premiers ordinateurs à lampes (1941) ;
– le premier circuit intégré à transistors, Intel (1967).
L'*espace numérique*, c'est un espace où les informations sont formatées et les protocoles normalisés, afin de permettre les échanges d'informations entre les différentes « machines », en y conservant le sens et l'intégrité de ces « informations ». Désormais, on fait l'amalgame entre l'espace numérique et l'espace cyber.
Les formats usuels sont construits autour de la notation binaire (qui permet l'algèbre de Boole) ou hexadécimale (et autres dérivés). En effet, ces notations se prêtent très bien au traitement par les portes logiques, réalisées matériellement à partir de transistors hyperminiaturisés à base de semi-conducteurs, dans les microprocesseurs ou les mémoires de stockage ou d'échanges (registres), ce qui, au vu des capacités de miniaturisation proche du nanomètre, permet aujourd'hui des puissances de calcul phénoménales : un smartphone standard de 2023 est plus puissant qu'un superordinateur des années 1990 !

Information et donnée
La *donnée* est le produit du formatage de l'*information brute*, c'est aussi une projection (partiale) et une réduction (partielle). Tous les systèmes numériques échangent des données. ▶

▶ La raison d'être de la cybersécurité est d'essayer de garantir au maximum l'intégrité, la confidentialité et le sens original des données traitées ou échangées.
La notion de *métadonnée*s vient du *big data*. Elle revoie au traitement statistique ou corrélatif des données massives où il s'agit d'essayer de dégager des lois de corrélation, voire d'inférence, ou des tendances parmi une « mer de données », ou encore de détecter des événements rares ou fugaces dans un agglomérat informe de données. Une métadonnée est une donnée considérée dans son contexte (forcément complexe).

Révolution informationnelle

Le terme apparaît dans les années 1980 dans des écrits de l'économiste Paul Boccara et du sociologue Jean Lojkine, et s'est assez rapidement imposé.
Sous prétexte d'informatiser des tâches subalternes, cette révolution informationnelle ne tarda pas à être utilisée dans les grandes entreprises capitalistiques pour supprimer nombre de postes « tertiaires », à commencer par ceux des secrétaires.
Résultat, à partir des années 1990, l'ingénieur ou le chercheur se retrouve tout seul à taper (mal) et traduire comme il peut ses articles, puis, lors des déplacements liés à son activité, à réserver ses voyages et ses chambres d'hôtel… à ses risques et périls.
Trente ans après, c'est l'hôpital et l'administration publique qui sont frappés, à tel point que les médecins spécialistes témoignent qu'ils passent 40 % de leur temps à remplir des fichiers informatiques.

Cybernétique et informatique avancée

La *cybernétique*, terme souvent abrégé en *cyber*, découle des travaux d'Alan Turing et des théories de l'information de l'États-Unien Shannon et du Français Léon Brillouin.
Les vrais débuts de ce qui est désigné par l'abréviation IA datent de 1956, mais ce ne sont pas que des réseaux de neurones ! On ne parle aujourd'hui que d'« intelligence artificielle » – c'est un terme de marketing – là où il faudrait parler d'*informatique avancée*.
Le gros problème de l'IA, c'est qu'on n'est pas capable d'expliquer scientifiquement comment cela marche, et que les dernières applications montrent de fortes dérives. Par exemple, ChatGPT ne cite pas ses sources (c'est contre toutes les pratiques scientifiques) et n'est pas transparent sur ses bases de données de références (celles qui lui permettent de s'entraîner).
On lira avec profit les travaux du professeur Ivan Lavallée

Quelques autres grandes étapes

1990 – Développement d'Internet, *via* des protocoles d'échanges qui permettent l'interopérabilité puis des moteurs de recherche associés (Google aura rapidement le monopole vers 2000).
2010 – Généralisation des smartphones et des réseaux sociaux associés. Le phénomène marque l'arrivée de l'économie du « je vends mes données personnelles contre l'accès (limité) à des applications utiles ou ludiques ».
2013-2016 – Révélations d'Edward Snowden, puis scandale de Cambridge Analytica, lié à Palantir (compromission des réseaux sociaux), ou du logiciel israélien Pegasus (espionnage des politiques).
2019 – Le sociologue Antonio Casilli dénonce l'asservissement de l'humain à l'IA (les microtravailleurs du clic).
2020 – Émergence d'un nouveau phénomène, l'algocratie : « Je vends de mon temps de cerveau aux GAFAM. » On lira avec intérêt Aurélie Jean, notamment sur les biais des algorithmes, ou Arthur Grimonpont sur les risques pour la démocratie.

***Cloud* (« nuage »)**

Géniale trouvaille du marketing dans les années 2010 pour vendre des espaces de stockage et pousser ainsi à l'externalisation des zones mémoire et des archives des gros systèmes informatiques.
Cela a été ensuite généralisé aux particuliers *via* le grand développement des smartphones (suivant le modèle de l'iPhone d'Apple). Les GAFAM en ont profité pour développer énormément leur offre commerciale de stockage externe en vendant l'illusion que « vos données sont dans le nuage », ce qui renvoie à l'illusion de l'éther des physiciens, lequel permettrait de propager les ondes de Maxwell (fin du XIXe siècle). On en est en quelque sorte dans la pensée magique…
Or, le *cloud* est un piège :
– parce que l'extraterritorialité des lois californiennes invoquées par les GAFAM leur confère *de facto* une véritable propriété des données stockées dans le *cloud*;
– parce que l'illusion de l'immatérialité du stockage a masqué les graves problématiques de consommation électrique et de dissipation de chaleur provoquées par la généralisation planétaire de cette pratique.
La solution aux problèmes d'intégrité de données et de surconsommation réside dans la relocalisation, au plus proche, des espaces de stockage et également dans le changement des protocoles trop redondants ou trop dispendieux, ce qui nécessite de revoir les preuves de calcul des chaînes de blocs (*blockchains*) et des cryptomonnaies, et de limiter le streaming intempestif de vidéos…
Cette relocalisation généralisée des mémoires de stockage (constructions de nombreux *proxy-cloud*) ferait chuter le débit intercontinental, qui actuellement est de 99,8 % dans les câbles sous-marins.
Pour autant, cela n'annulera pas le besoin de câbles sous-marins, car les télécoms spatiales sont encore très chères et n'assurent qu'une couverture très partielle. On aura de toute façon besoin d'échanger les informations nouvelles et les contenus des médias et réseaux sociaux.
Si on voulait fortement développer les télécoms spatiales, on se heurterait très rapidement à la saturation des orbites basses – actuellement très critiques, en raison du nombre exponentiel de déchets spatiaux, qui risquent de détruire les infrastructures en place.
L'intérêt de la diffusion spatiale (type broadcast, comme CanalSat) est majeur dans les pays sans grandes infrastructures au sol (le Moyen-Orient, l'Afrique, Madagascar…). ■

***SYLVAIN DELAITRE** est ingénieur-chercheur, membre du Conseil supérieur de la réserve militaire et de la CGT Métallurgie.*

■ ÉCHECS

Dans les pas de l'école soviétique d'échecs

« Le bon sens est la chose du monde la mieux partagée ; car chacun pense en être si bien pourvu que ceux même qui sont les plus difficiles à contenter en toute autre chose n'ont point coutume d'en désirer plus qu'ils en ont. »

RÉNÉ DESCARTES

Le champion du monde du bon sens : Emanuel Lasker

PAR TAYLAN COSKUN*

Mathématicien, philosophe, joueur de bridge, champion du monde des échecs pendant vingt-sept ans – un record non encore battu –, Emanuel Lasker (1868-1941) fut un véritable esprit universel, loin de l'image du joueur d'échecs entièrement voué à cette activité. Albert Einstein, de qui il fut un ami proche, lui reprochait le temps qu'il consacrait à ce jeu au lieu d'approfondir ses compétences dans d'autres domaines plus « sérieux ».

Or Lasker pensait les échecs comme un modèle réduit de toutes les activités humaines comportant un combat ; pour lui, le jeu n'était ni un sport, ni un art, ni une science mais l'affrontement de deux esprits et de deux volontés. Il a écrit un manuel par lequel il prétendait mener comme par la main un débutant à un niveau de joueur de première catégorie en quelques mois, et *le Bon Sens aux échecs*, où il énonce les principes fondamentaux qui permettent de jouer correctement en s'appuyant sur le sens commun.

Lasker est connu pour avoir recouru à la psychologie dans le combat : il ne cherchait pas à jouer le meilleur coup possible dans une position, comme le ferait un ordinateur, mais à trouver le coup qui poserait le plus de problèmes pratiques à l'adversaire du moment. Aux échecs, le bon sens c'est d'user de tous les moyens pour défaire un adversaire, et non de produire un jeu mathématiquement parfait. Entre deux coups possibles, il choisissait toujours celui qui contrariait le plus le jeu de l'adversaire : si celui-ci était à l'aise dans les positions compliquées et dynamiques, il cherchait à simplifier les choses ; à l'inverse, il introduisait le chaos face à des joueurs qui aimaient la clarté. De fait, en le voyant s'imposer à partir de positions « normalement » égales, voire inférieures, des commentateurs ont pensé qu'il hypnotisait ses adversaires avec la fumée de son cigare… ou qu'il avait de la chance ; certains ont même dit qu'il jouait exprès de mauvais coups à des fins de perturbation. Les analyses réalisées à l'aide d'ordinateurs montrent qu'il n'en était rien : ses choix étaient toujours justifiés, même s'ils n'étaient pas objectivement les meilleurs.

La grande leçon de Lasker, c'est qu'une stratégie doit obéir à des principes rationnels en tenant compte de ses ressources et des capacités de son adversaire pour obtenir le gain. Une deuxième leçon, plus élaborée et révolutionnaire, touche à la conception même de la stratégie : il faut interroger le bon sens dans le combat et les biais de confirmation qui y sont liés. En effet, quand on combat, on se fixe la victoire comme un objectif qui appelle à trouver toutes les ressources qui justifient les plans allant dans ce sens. Or, si on se borne à cela, on risque de sous-évaluer les ressources de l'adversaire, de perdre de vue que son objectif est symétrique du nôtre, comme son son bon sens, et qu'aux échecs on part de situations d'équilibre.

Lasker procède par évaluation des équilibres et des déséquilibres entre les deux camps ; il s'appuie sur les déséquilibres aussi bien matériels que psychologiques pour bousculer le cours des événements et faire pencher la balance. Il gardait présente à l'esprit la formule latine *caeteris paribus sic stantibus* (« toutes choses égales par ailleurs »), qui aide à déceler les petites différences et à les travailler pour dévier et subvertir le bon sens des autres joueurs afin de créer des opportunités.

Intégrer dans la stratégie le bon sens, cette chose la mieux partagée au monde, afin de l'interroger et le dévier d'une manière créative est utilisé bien au-delà du jeu d'échecs. La méthode « toutes choses égales par ailleurs » est ainsi aujourd'hui couramment mise en pratique en économie.

La pensée stratégique de Lasker est un legs d'une grande valeur qui a encore beaucoup de choses à nous apprendre. En ce sens, on ne peut que regretter de ne pas disposer d'une traduction française de son œuvre de synthèse, *Combat*. ■

***TAYLAN COSKUN est membre du comité de rédaction de *Progressistes*.**

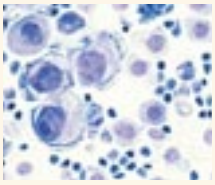
À VOUS DE JOUER… Voici trois moments de sa partie la plus célèbre contre Johann Hermann Bauer. Trouvez les coups des Blancs joués par Lasker.

I

II

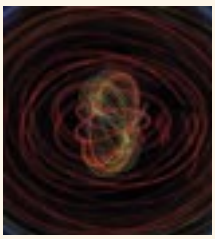
III

DEUX AVANCÉES DANS LE TRAITEMENT DU CANCER



On a pu lire dans *les Échos* que « *le laboratoire suédo-britannique AstraZeneca a dévoilé les résultats d'une étude sur l'osimertinib, un traitement contre le cancer du poumon qui est celui qui cause le plus de décès avec 1,8 million de morts chaque année* ». Ce traitement concerne les patients atteints d'un des cancers les plus répandus : 10 à 25 % des patients aux États-Unis et en Europe, 30 à 40 % en Asie. Le remède réduirait de moitié le risque de décès dû à cette maladie. Dans le même temps, *Santé Magazine* nous apprend qu'une équipe française de chercheurs de l'Institut Curie « *a découvert un mécanisme de réparation de l'ADN qui ouvre la voie au développement de nouvelles approches thérapeutiques dans le traitement du cancer du sein* ». Ainsi que le rapporte le docteur Raphaël Ceccaldi, chercheur INSERM et chef d'équipe à l'Institut Curie : « *Avec mon équipe* […], *nous scrutons les mécanismes que la cellule met en place pour réparer son ADN, permettant notamment la survie des cellules cancéreuses. C'est grâce à la compréhension de tels mécanismes que nous pouvons échafauder de nouvelles pistes pour déjouer le cancer. Nos découvertes sur le rôle et le fonctionnement de la polymérase thêta dans le maintien de l'intégrité du génome nous laisse entrevoir des perspectives thérapeutiques nouvelles contre le cancer, notamment du sein et de l'ovaire.* » ■

EDF DÉFRICHE LE QUANTIQUE



Acteur majeur du HPC (*hight performance computing*), EDF s'intéresse naturellement au calcul quantique. Le groupe possède neuf centres de recherche dans le monde, dont celui de Saclay, où œuvrent 800 personnes. Poids lourd du calcul de haut niveau, EDF a commencé à investir le calcul intensif quantique. « *Nous sommes impliqués dans la recherche sur les algorithmes quantiques depuis 2017* », explique Joseph Mikael, responsable Quantum d'EDF Lab. Les applications directes sont particulièrement utiles : optimisation de la charge de flottes de véhicules électriques ; simulation des matériaux, avec notamment l'étude du vieillissement des batteries ; irradiation des matériaux nucléaires ainsi que le calcul du risque lié à la sécurité, pour ne citer que ces exemples, sachant que le calcul quantique permet un gain de temps important et une économie d'énergie substantielle. Selon IT for Business, les chercheurs d'EDF sont très avancés dans le domaine de la simulation des matériaux, notamment pour ce qui est des conditions de leur durabilité. Les chercheurs veulent « *simuler le comportement de l'acier des cuves de réacteur qui est soumis aux radiations et prévoir le vieillissement des installations* ». Cette orientation, développée depuis six ans, permet de dépasser rapidement les limites actuelles des pratiques de calcul. Un nouveau type d'algorithme quantique est en cours d'étude et fera prochainement l'objet d'une note d'information scientifique. ■

Du mauvais usage de l'IA

Il fallait s'y attendre. Si, à petite échelle, l'installation de caisses automatiques dans les supermarchés allait jusqu'à supprimer toute présence humaine dans certains d'entre eux, l'IA commence à servir au même genre de « nettoyage » au détriment de l'emploi. Onclusive, entreprise leader de la veille média basée à Courbevoie, va supprimer 217 emplois, soit plus de la moitié de ses effectifs, pour les remplacer par des logiciels d'IA d'ici à juin 2024, confirme *Libération*. Les syndicats de l'entreprise réagissent ; pour eux, il ne s'agit pas que d'une « *catastrophe humaine en préparation* » mais du « *symbole de l'irruption tant redoutée de l'IA dans le monde du travail* ». L'activité des salariés consistait à compiler des articles de presse et à fournir des synthèses à des grands acteurs économiques. Signalons qu'Onclusive travaille pour plusieurs entreprises du CAC40, mais aussi pour l'État français à travers des ministères et des services publics. RTL rapporte les propos du délégué syndical de la CFE-CGC, déterminé à mener le combat pour l'emploi dans les prochaines semaines : « *Des gens sont là depuis vingt ans, ce sont des métiers très spécialisés* ». ■

Attention au loup ?

Le loup, cet animal mythique qui a fait frémir les enfants depuis les profondeurs de l'histoire humaine, est revenu en force, à hauteur de 1 104 congénères en France depuis qu'il a été réintroduit dans notre paysage, en 1996. L'émotion créée par la présidente du Parlement européen, dont le poney fut tué par un loup, a réveillé la polémique sur la cohabitation d'espèces dites « sauvages » avec l'environnement cadré par l'activité humaine. Selon *le Figaro*, « *53 départements*

sont affectés par des dégâts sur les troupeaux et 60 ont déposé un dossier à l'administration pour bénéficier des mesures de protection ». La sensibilité au sujet est telle que la Fédération nationale de la chasse s'est portée volontaire pour aider à régler la cohabitation, au même titre qu'elle l'a fait sur l'épineux sujet de l'envahissement de la population de sangliers et de quelques autres espèces. Il n'y a aucune tradition culinaire qui puisse inclure les loups dans la cuisine française, ce qui ne facilite pas une pirouette en la matière. Sans exclure les chasseurs, il serait bon plutôt de regarder ce qui se passe du côté de la maigre part réservée à l'ONF pour le traitement de tout ce qui touche à l'aménagement des espaces naturels. Même si le gouvernement a ajouté 10 millions d'euros au dernier budget de l'Office, le compte n'y est pas pour s'attaquer à cette problématique, parmi d'autres qui mériteraient une politique volontariste de gestion des équilibres de nos campagnes, avec des emplois dédiés à la hauteur. ■

Les réfugiés en souffrance

Selon le magazine *Alternatives économiques*, le nombre de réfugiés poussés hors des frontières de leurs pays est passé de 10,5 millions à 34,6 millions en dix ans, ce qui doit faire frémir les isolationnistes de la « reconquête ». Contrairement aux idées reçues, ce n'est pas l'Europe, et encore moins la France, qui accueille les réfugiés venus d'Asie et d'Afrique mais les pays les plus proches, dont beaucoup ne font pas partie du G20, hormis la Turquie. Si les Ukrainiens qui fuient la guerre contribuent considérablement à l'augmentation du nombre de réfugiés (+ 77 %), le nombre de ceux qui proviennent du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord diminue (– 1,9 %). Le pays le plus touché est la Syrie (22,6 millions d'habitants) avec près de 7 millions de réfugiés. Ce pays a cumulé guerres civiles et conflits géopolitiques depuis qu'il a accédé à l'indépendance, en 1946. Le Haut-Commissariat des Nations unies pour les réfugiés est un lieu incontournable de décisions efficaces que devraient respecter tous les pays pour empêcher les drames qui ne cessent de ponctuer l'actualité. On est loin du compte. ■

L'INES, leader mondial dans le photovoltaïque

Dans une interview à *Éco Savoie Mont-Blanc* en juillet 2023, Anis Jouini, directeur de l'INES (Institut national de l'énergie solaire), a annoncé que l'institution s'est dotée d'une plate-forme de pilotage intelligent des réseaux électriques. Son activité de développement est dédiée aux technologies photovoltaïques avancées, à leur intégration dans les systèmes ou les réseaux électriques et à la gestion intelligente de l'énergie. Ses installations sont exploitées essentiellement par le CEA, qui organise l'hébergement des partenaires, industriels, start-up et prestataires externes.

Pour lui, « *le champ des thématiques à développer est énorme : depuis les véhicules électriques, qui devraient intégrer des panneaux solaires, jusqu'à l'agrivoltaïsme,* […] *le développement des liens entre les mondes de l'agriculture et du photovoltaïque (centrales au-dessus des cultures, équipements des bâtiments agricoles…), en passant par les ombrières solaires, qu'il serait vraiment judicieux d'installer au-dessus des bornes de recharge pour véhicules électriques.* » ■

Ingenuity surprend la NASA

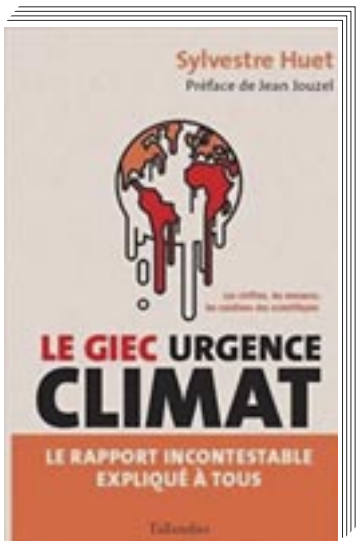
Soulagement et grande surprise à la NASA. Sur Mars, ce petit hélicoptère de 2 kg et de 50 cm de haut semblait perdu : la communication avec le rover *Perseverance* s'étant interrompue en raison « *des reliefs alentours qui empêchaient les antennes de se relier* », comme le précise le journal *le Monde*. Ce petit engin, utilisé pour une mission secondaire, a rebondi en bravant les conditions difficiles de l'hiver et de l'été martiens et tenu le coup, à la grande surprise de l'équipe (une vingtaine de personnes) responsable de la mission. Le 25 août 2023, il a réussi son 56e vol. « *Ce succès a poussé la NASA à réfléchir à d'autres missions similaires avec des hélicoptères plus développés afin de rapporter des échantillons de Mars* », indique le chef du projet, Joshua Anderson. ■

LE CHIPS ACT EUROPÉEN EN ORBITE FIN 2023

Même s'il n'atteint pas le niveau des investissements états-uniens (300 milliards de dollars), l'accord dit Chips Act, qui doit permettre à l'industrie européenne de réduire sa dépendance envers l'Asie dans le secteur des semi-conducteurs, permet aux investissements industriels d'atteindre, selon Ursula von der Leyen, présidente de la Commission européenne, « *plus de 90 milliards d'euros* [d'investissements] *en Europe qui ont été annoncés dans le cadre de ce plan qui vise à porter le poids de l'UE dans la production mondiale de puces à 20 % en 2030, contre moins de 10 % aujourd'hui* », rapportent les Échos. Cela ne veut pas dire que l'Europe sera indépendante, loin de là. En effet, selon *l'Usine nouvelle*, le groupe états-unien TSMC, numéro un mondial des semi-conducteurs, compte dépenser au total près de 47 milliards d'euros en capital en Europe pour accompagner son développement dans la fonderie de puces. Sept projets visent la création de nouvelles usines, dont celle d'Intel à Magdebourg, qui sera la seule en Europe à fabriquer des puces de pointe. Dans ce cadre, en France est prévue la création d'unités de production à Corbeil-Essonnes, Crolles, Bernin et Grenoble, lesquelles s'inscrivent dans la projection de « mégafabs » (usines de puces) inscrites dans la foulée du Chips Act. ■

COP 28 : L'ÉTAU DE L'URGENCE CLIMATIQUE SE RESSERRE

Après un G20 pour si peu de résultats sur les questions environnementales, l'ONU a tiré la sonnette d'alarme en rappelant l'importance du prochain rendez-vous, la COP 28 (du 30 novembre au 12 décembre 2023 à Dubai). La série de catastrophes liées au dérèglement climatique, qui s'ajoutent à d'autres catastrophes naturelles, donne une idée de ce qui se passera dans un proche avenir si des mesures drastiques ne sont pas prises pour éviter le pire demain, ce qui a été démontré et détaillé par le rapport du GIEC. Nous connaissons, huit années après l'accord de Paris, un différentiel majeur : + 2,4 °C de réchauffement à l'horizon 2050 si on en reste au rythme actuel, contre une augmentation de 1,5 °C selon les objectifs de limitation des températures moyennes. « *L'ONU demande qu'un objectif de réduction de 43 % des gaz à effet de serre soit imposé jusqu'à 2030 et 60 % de plus jusqu'à 2035 pour obtenir un monde "neutre" en 2050* », rappellent *les Échos*, qui poursuivent : « *À mi-chemin entre deux COP, Bonn est, comme chaque année pendant dix jours, l'épicentre de négociations cruciales pour préparer la prochaine grand-messe mondiale de l'ONU sur le climat. Mais s'il s'agit d'une réunion technique et non politique, plus que jamais cette année cette session préparatoire qui accueille près de 200 représentants de gouvernements va être observée à la loupe par les ONG, comme les scientifiques ou les élus du monde entier.* » ■



Le GIEC. Urgence climat
SYLVESTRE HUET
Tallandier, 266 p.

Journaliste scientifique, animateur du blog {science²}, contributeur régulier de *l'Humanité*, Sylvestre Huet a déjà publié plusieurs ouvrages, notamment *le Climat en 100 questions*, coécrit avec le climatologue Gilles Ramstein. Son ouvrage est préfacé par Jean Jouzel, paléoclimatologue mondialement connu, qui fut vice-président du groupe 1 du GIEC de 2002 à 2015.
L'être humain a peur, et il a raison mais cela ne suffit pas. Il subit déjà les conséquences d'un changement climatique qui assèche les uns et noie les autres. Donc il faut agir, et ce en comprenant bien ce qui se passe. L'auteur reprend le rapport du GIEC, qu'il présente comme « incontestable », et en fait une présentation pédagogique qui puisse être comprise par tous les publics, du collège à l'université, en passant par toutes les couches de notre société ; personne ne doit être écarté de la mobilisation contre un désastre annoncé. Nul doute que l'effet de serre accéléré par le mode de vie dans lequel on nous inscrit fragilise notre destinée. Ce n'est pas inéluctable, sous réserve de prendre le sujet par le bon bout et d'obliger les décideurs de la planète à prendre les mesures nécessaires sinon pour inverser la tendance au moins, dans un premier temps, pour la ralentir significativement.
L'auteur utilise trente-huit infographies et cartes pour nous aider à suivre le chemin de son raisonnement tout en marquant, chaque fois qu'un terme scientifique est utilisé, le sens du discours par des bulles pédagogiques très utiles. Il suffit de se laisser porter jusqu'à la fin. Un guide de lecture introduit quatre chapitres de l'ouvrage.
La gravité du sujet n'est pas atténuée, notamment lorsque l'auteur évoque l'effet domino d'extinctions d'espèces – qui ne manque pas de fragiliser la nôtre : les conséquences catastrophiques des migrations forcées des uns, confrontés au repli agressif des autres, n'étant pas une vue de l'esprit.
Le monde est à la croisée des chemins. Sylvestre Huet nous donne les clés pour ne pas tomber dans le piège des discours rassurants pour que rien ne change, ni dans celui des scénarios catastrophes en boucle qui ne changent rien non plus. ●

Y. H.

La Piscine municipale
CORNELIA HUMMEL
et DAVID WAGNIÈRES
Metis Presses, 170 p.

La France, avec ses 4 135 piscines publiques (évaluation de 2017) fait figure de championne en la matière, n'en déplaise à la Cour des comptes. La Suisse, elle, n'en possède que 750. Mais si l'on rapporte ce chiffre à la population du pays, la comparaison est à notre désavantage : pour être à la hauteur helvétique, il faudrait accroître de près de 2 000 le nombre piscines publiques françaises.
Le bel ouvrage de Cornelia Hummel, sociologue, et David Wagnières, photographe, nous ouvre la grande porte d'une pratique sportive et culturelle populaire. C'est une approche ethnographique qui nous est offerte, avec analyses précises des comportements de chaque génération, des personnels…, l'ensemble dans un cadre savamment abordé par des photographies qui dépassent largement la stricte présentation ; en effet, elles donnent un rythme à l'énumération des différentes facettes de la pratique de la natation en piscine.
On s'y croirait, et nous plongeons dans un univers que l'autrice nous présente sous un angle aussi positif que militant, avec des témoignages et des anecdotes succulentes où les tensions des violences de classe sont étouffées par l'exigence d'un vivre-ensemble, contrastant ainsi avec l'environnement de vie contraint des sociétés européennes.
L'édition de l'ouvrage est particulièrement soignée, avec une typographie aérée et une valorisation des photos qui en font un livre de chevet détendant.
À un moment où les budgets territoriaux sont compressés par la politique malthusienne de la gouvernance et où la crise climatique sert de prétexte à la réduction des plages d'utilisation des piscines, voire à leur suppression, ce plaidoyer tombe à pic pour les défendre à une vitesse olympique. ●

YVON HUET

L'expertise sans peine* suivi de *Paradoxes de l'expertise

NICOLAS GAUVRIT
et SEBASTIAN DIEGUEZ
Éliott, 224 p.

Serait-il possible, sans trop d'effort, de devenir un expert des plateaux télé, où tout le gratin médiatique se presse pour vous demander votre avis sur tout, et surtout sur n'importe quoi ? Autrement dit, serait-il possible de devenir l'*alter ego* de ce philosophe vieux beau à chemise bâillante ou de ce journaliste à écharpe rouge ?

C'est bien ce que nous promettent Nicolas Gauvrit, mathématicien et docteur en sciences cognitives, et Sebastian Dieguez, neuropsychologue, dans cet ouvrage. Selon eux, en effet, nul besoin de passer des dizaines d'années de dur labeur à tenter d'acquérir un grand nombre de connaissances ou de maîtriser parfaitement un domaine de compétence pour avoir un avis « éclairé ». Il suffit plutôt de développer des savoir-être pour simplement suggérer que vous êtes expert et que ce que vous dites est important. Bref, il suffit de mimer l'expert. Toutes les études le montrent.

Vous l'aurez compris, il s'agit d'une satire de l'expertise médiatique, car les auteurs ont jugé nécessaire de prendre le parti d'en rire. C'est certainement une bonne approche pour réveiller l'esprit critique sur le sujet de l'expertise, tout en rendant la lecture agréable : montrer ce qui n'est pas une expertise pour, en creux, se faire une idée de ce qu'est une expertise authentique.

Dans le second volet du volume, *Paradoxes de l'expertise*, les auteurs traitent de l'expertise et des problèmes qui lui sont liés. Là, finie la satire, du sérieux et du passionnant pour comprendre ce qu'est l'expertise, savoir pourquoi il y a des experts, etc. Parce que la vie est courte, disent-ils ! La lecture de ces pages vous donnera des armes pour faire la part entre vraies et fausses expertises. N'est-ce pas essentiel aujourd'hui pour la formation d'un citoyen vivant dans un monde cerné par la technologie comme le nôtre… et, pourquoi pas, pour se prémunir contre un nouvel épisode marseillais covid-19/chloroquine, entre autres ? ●

VINCENT LAGET

Repères pour agir. Des luttes pour l'agriculture et l'alimentation

JOCELYNE HACQUEMAND
Le Temps des Cerises, 547 p.

L'autrice, secrétaire générale de la Fédération nationale agroalimentaire et forestière (FNAF) de la CGT, économiste et docteure en géographie, nous propose là un ouvrage de référence sur l'agriculture et l'alimentation. *Repères pour agir*, qui se présente comme un dictionnaire thématique de combat – son sous-titre : *Des luttes dans l'agriculture et l'alimentation*, est on ne peut plus clair là-dessus – n'en est pas moins un ouvrage précieux pour comprendre les enjeux autour de ces questions.

À partir d'une approche marxiste solide, comprendre pour mieux agir, donner du contenu aux mots utilisés, telle est l'ambition de cet ouvrage. Ce livre, organisé sous forme d'abécédaire, allant de « *accaparement* » à « *zoonoses* », en passant, par « *agrocarburants* », « *besoins alimentaires* », « *Crédit agricole* », « *enseignement agricole* », « *fondation Bill Gates* », « *lois agraires* », « *malnutrition* », « *OGM* », « *pesticides* », « *prix agricoles et alimentaires* », « *recherche agronomique* », « *salariat agricole* », « *semences* » (on a du mal à restreindre les rappels, tellement le traitement de chaque sujet est riche), s'emploie à définir 147 termes pour en identifier les concepts, en dévoiler quelques origines, en déterminer les conséquences pour les salariés et les peuples. Les données sont documentées, contrairement à ce que l'on trouve dans ChatGPT.

Il s'agit d'un livre utile à la compréhension et à l'action. D'ailleurs, la FNAF-CGT en a offert un exemplaire à toutes les fédérations départementales du PCF. ●

SERGE VIDAL

ÉCONOMIE BAS CARBONE

Le faux débat du technosolutionnisme

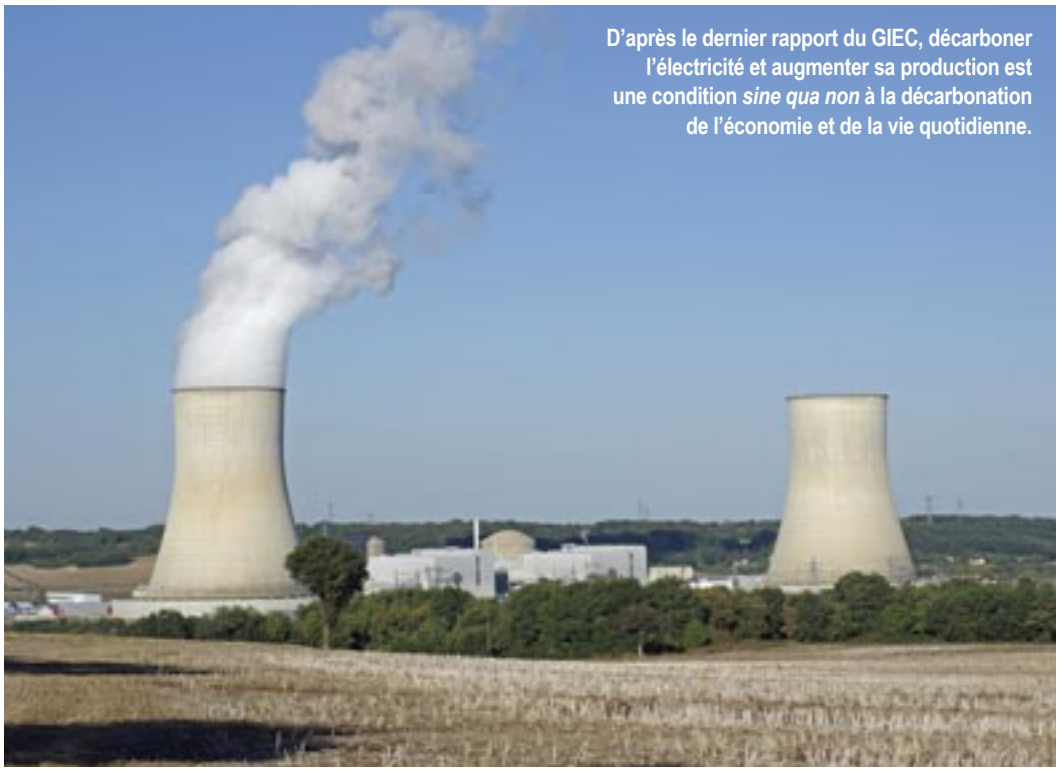
Se méfier des mots en -isme est souvent une bonne idée : le concept de technosolutionnisme en offre une bonne illustration. Pour la plupart de ses utilisateurs, il représente le moyen de critiquer les politiques des pouvoirs politiques et économiques face aux menaces du changement climatique ou de la crise de la biodiversité. C'est une bonne intention, mais elle multiplie les fausses pistes.

PAR SYLVESTRE HUET*

L'affaire semble simple. D'un côté, Emmanuel Macron, lorsqu'il rend visite au salon aéronautique du Bourget, assène que *la* solution, ce n'est pas moins d'avions mais des avions volant avec un carburant bas carbone, donc n'émettant pas, ou peu, de CO_2, ce gaz à effet de serre principal responsable du changement climatique que nous provoquons. Et de l'autre, des opposants dénonçant ce « technosolutionnnisme ».

Sauf que… pour qu'il y ait technosolutionnisme, encore faut-il que la solution technique existe, ou puisse exister dans un futur prévisible et assez proche pour constituer une solution au problème posé. Or ce n'est pas le cas. Les carburants bas carbone de cette aviation rêvée n'existent pas. Peuvent-ils exister dans le futur ? La piste des agrocarburants se heurte au conflit d'usage des terres avec l'alimentation des populations et ne peut procurer qu'une très faible part de ce qui serait nécessaire. Quant à celle de l'hydrogène, elle se heurte aux quantités phénoménales d'électricité qu'il faudrait mobiliser pour le produire. Un calcul récemment exposé par un ingénieur de l'IFPEN (Institut français du pétrole énergies nouvelles) montre que le seul remplacement de l'hydrogène actuellement utilisé par l'industrie à l'échelle mondiale, produit à partir de vaporeformage d'hydrocarbures, et donc avec émission massive de CO_2, nécessiterait soit environ un million d'éoliennes, soit 600 réacteurs nucléaires. Autrement dit, dans les deux cas, plus que le total existant sur la planète aujourd'hui. Et cette gigantesque mobilisation n'aurait pas ajouté un gramme d'hydrogène à celui déjà utilisé, seule sa décarbonation aurait été atteinte.

Il ne faut pas chercher des solutions non techniques mais des solutions sociotechniques efficaces.



D'après le dernier rapport du GIEC, décarboner l'électricité et augmenter sa production est une condition *sine qua non* à la décarbonation de l'économie et de la vie quotidienne.

Il ne faut pas chercher des solutions non techniques mais des solutions sociotechniques efficaces.

Dénoncer le discours d'Emmanuel Macron sur ce point à l'aide du concept de technosolutionnisme représente donc un défaut et un risque majeur : celui de faire croire, voire de croire, qu'il oppose aux solutions sociétales à la menace climatique de réelles solutions techniques, que ses partisans préfèrent car ils anticipent qu'elles permettraient par ailleurs de maintenir l'ordre social existant, en particulier ses inégalités sociales massives et le tourisme de masse pour destinations lointaines des classes moyennes des pays riches. Lequel tourisme contribue à faire vivre des centaines de millions de personnes, avec

L'opposition systématique aux biotechnologies, fondée sur le refus nécessaire des plantes modifiées, est un frein à l'invention d'une agriculture résiliente au changement climatique, compatible avec une agriculture non capitaliste.

272 millions d'emplois et 10 % du PIB mondial[1], notamment dans les pays pauvres.

Ce qu'il faut donc dénoncer dans les propositions d'avions bas carbone, ou du remplacement des voitures et camions à pétrole par des véhicules électriques – et avec un nombre en vive croissance à l'échelle mondiale –, ce n'est pas qu'elles sont des « technosolutions » alors qu'il faudrait des solutions non techniques. C'est que ce ne sont pas des solutions techniques efficaces, et qu'il faut y opposer des solutions sociotechniques efficaces… lesquelles ne fonctionneront pas si leur volet technique est défaillant.

GRAMSCI, LA RÉFÉRENCE NÉCESSAIRE

Les partisans d'un autre modèle social, alternatif au capitalisme, sont confrontés au défi décrit par Gramsci : comment montrer aux peuples qu'ils sont en capacité de diriger les sociétés vers un autre horizon social, économique et culturel ? Conquérir l'hégémonie culturelle, disait le penseur marxiste, est la seule voie pour conquérir la confiance des peuples et les entraîner vers la construction de sociétés fondées sur la priorité du collectif sur les intérêts privés ; en d'autres termes, mettre des bornes, assez sévères, à la propriété – surtout à celle du capital productif – et à son usage libre. Cela passe par une démonstration : celle de la capacité à décrire le chemin social et technique qui y mène.

Ne prenons pas de gants : lorsque des dirigeants politiques d'une gauche sont capables d'affirmer (voire de croire, mais il serait imprudent de ma part d'en être certain) que les « *centrales nucléaires réchauffent la Méditerranée* » (Jean-Luc Mélenchon), ou « *détruisent la vie de nos rivières* » (Sandrine Rousseau), ils font la démonstration inverse[2].

DE NOUVEAUX IMPÉRATIFS

La difficulté se révèle énorme. À proportion de la dépendance de nos sociétés complexes vis-à-vis de techniques issues des sciences pour la réponse aux besoins quotidiens et vitaux des populations… et à leurs besoins moins vitaux mais ressentis comme non moins nécessaires (et je ne m'étends pas sur l'ardente obligation de réduire, voire supprimer la publicité commerciale afin de ne pas y ajouter la frénésie de consommation sans laquelle le monde pensé par les sortants d'HEC s'écroule tout net). Il ne s'agit pas de principes philosophiques ni d'impératifs catégoriques de la morale. Il s'agit de techniques concrètes, donc toujours localisées, circonstancielles, et de quantités (tonnes de ciment, d'acier, de cuivre ou de blé, mètres cubes de gaz, mètres carrés de surface habitable, hectares de terres agricoles, etc.). Les rares considérations générales utiles sont un guide pour la réflexion, elles ne permettent jamais de conclure à elles seules si un choix technologique est bon ou mauvais.

Les partisans d'une société non capitaliste doivent donc être capables de décrire la composante technique du monde dont ils rêvent et qu'ils proposent aux peuples, sans quoi leur crédibilité risque de ne jamais atteindre le niveau nécessaire pour arriver au pouvoir par la voie démocratique. Ou, si l'indigence politique des tenants du système capitaliste leur ouvre la voie du pouvoir politique – ▶

Ce qu'il faut étudier c'est une technologie, des matières premières, des processus de transformation, de production et d'échanges dans le cadre d'un modèle sociétal.

ÉCONOMIE BAS CARBONE

un peu comme lorsque le tsar Nicolas II fait la bêtise d'armer des millions de paysans et d'ouvriers pour les envoyer se faire massacrer –, le risque est de les voir échouer à réaliser leurs promesses sociales ou écologiques en raison de mauvais choix techniques.

UN DÉFI INTELLECTUEL

Les guides généraux sont connus. Il faut des moyens de production et d'échanges très économes en émissions de gaz à effet de serre, en matières premières, en énergies, en surface de sol, en émissions de déchets altérant les qualités de l'air, des terres et des eaux. Les technologies existantes sont-elles suffisantes pour y parvenir ? Parfois oui, souvent non. En outre, cette question est souvent mal posée, car ce qu'il faut étudier c'est une technologie, des matières premières, des processus de transformation, de production et d'échanges dans le cadre d'un modèle sociétal. Conduire la réflexion en séparant les deux aspects ne peut conduire qu'à l'échec ; donc on est devant ce qui constitue un défi intellectuel majeur.

Prenons le risque de deux exemples, très succinctement présentés.

D'après le dernier rapport du GIEC, décarboner l'électricité et augmenter sa production pour la substituer à de nombreux usages des hydrocarbures est une condition *sine qua non* à la décarbonation de l'économie et de la vie quotidienne[3]. Est-ce possible à l'aide des seules ressources naturelles renouvelables ? Peut-être… si l'on trouve des solutions technicoéconomiques efficaces pour pallier leur intermittence intrinsèque. Ironisons : c'est une piste « technosolutionniste », puisqu'elle fait appel, massivement, à des techniques à inventer. De sorte que le recours à l'énergie nucléaire apparaît plutôt comme un conservatisme technique, surtout si l'on se souvient que les petits réacteurs et ceux à neutrons rapides ont déjà été expérimentés. Se tromper sur ce sujet serait très dangereux, à l'échelle mondiale comme pour les pays où cette technologie est massivement utilisée. Et ce n'est pas parce que des forces politiques qui ne souhaitent surtout pas sortir du capitalisme veulent utiliser cette technologie qu'elle est incompatible avec un modèle social différent. Cela ne veut pas dire du nucléaire partout et n'importe comment, ni du nucléaire nulle part.

Les partisans d'une société non capitaliste doivent être capables de décrire la composante technique du monde dont ils rêvent et qu'ils proposent aux peuples, sans quoi leur crédibilité risque de ne jamais atteindre le niveau nécessaire pour arriver au pouvoir par la voie démocratique.

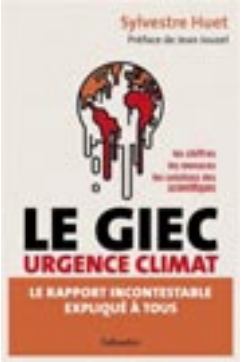
La production alimentaire va devoir faire face à des changements violents des conditions climatiques, à l'augmentation de la population mondiale et à la nécessité de rompre avec des pratiques agraires (usage massif de pesticides toxiques, spécialisation des territoires) non durables. Y parviendra-t-elle, au rythme de ces transformations et menaces, sans utiliser les techniques d'édition des génomes végétaux découverts par les biologistes ? Peut-être. Mais pourquoi s'en priver lorsque les arguments utilisés pour les rejeter sont aussi éloignés de la réalité ? Une équipe internationale, à dominante chinoise, vient de publier une découverte majeure en dotant, à l'aide de l'outil d'édition des génomes CRISPR-Cas9, une variété de riz d'une résistance à des champignons pathogènes et à des bactéries mais sans la baisse de la croissance de la plante, qui est souvent le prix à payer pour ce type d'intervention. Le résultat obtenu est l'aboutissement d'une longue recherche sur le génome du riz, sur son métabolisme à l'échelle de la cellule et de la plante, de la bio-informatique et des essais en laboratoire et microparcelles. Il n'y a rien dans cette proposition technique qui soit incompatible avec une agriculture non capitaliste – qu'il s'agisse d'exploitation familiale de petite taille ou de coopératives de grandes tailles.

L'opposition systématique à ces biotechnologies, fondée sur le refus nécessaire des plantes modifiées pour tolérer les herbicides au glyphosate, est un frein à l'invention d'une agriculture résiliente au changement climatique. Une agriculture dont l'organisation sociale doit être bouleversée, notamment pour dé-spécialiser les territoires, mais dont ce bouleversement ne suffira pas à la mettre en capacité à résister à la menace climatique. ■

Les carburants bas carbone pour l'aviation se heurtent aux quantités phénoménales d'électricité qu'il faudrait mobiliser pour les produire.

SYLVESTRE HUET est journaliste scientifique.

1. https://www.lemonde.fr/economie/article/2021/04/11/a-travers-le-monde-ces-employes-du-tourisme-confrontes-a-la-crise-du-covid-19_6076355_3234.html
2. https://www.lemonde.fr/blog/huet/2022/11/17/nucleaire-eau-climat-bilan-de-canicule/
3. https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/



Dernier livre de l'auteur : *le GIEC. Urgence climat*, **Tallandier, 2023.**

TOUS UNIS

CONTRE L'ÉNERGIE CHÈRE !

EN 2022

+ 24 MILLIARDS DE DETTE PUBLIQUE

AVEC LE BOUCLIER TARIFAIRE AU PROFIT DES FOURNISSEURS PRIVÉS

Pour une énergie 100% publique, sortons du marché !

WWW.ENERGIE-PUBLIQUE.FR

CSEC EDF SA
Comité Social et Économique Central d'EDF SA

CSEC
Comité Social & Économique Central
ENEDIS

■ UNIVERSITÉS

Le classement de Shanghai : un marché de dupes

Chaque année au mois d'août, la publication de l'Academic Ranking of World Universities (ARWU), dit « classement de Shanghai », provoque à la fois ferveur et terreur chez les responsables de l'enseignement supérieur et de la recherche en France depuis la ministre de la Recherche jusqu'aux présidents et présidentes des plus petites universités… Pour quels enjeux ?

PAR PIERRE SALVADORI, LUKAS TSIPTSIOS, VICTOR BURGARD, ANTOINETTE MOLINIÉ, MARIO RANIERI MARTINOTTI ET GEOFFREY BODENHAUSEN*

Ce classement académique a la prétention de séparer le bon grain de l'ivraie en attribuant une note unique à chacune des universités de la planète afin de les classer comme s'il s'agissait des élèves d'une classe supposée homogène. De toute évidence, il est absurde de vouloir évaluer la qualité d'une institution complexe par un seul chiffre. Même au bac, les étudiants obtiennent des notes distinctes branche par branche, et ils seraient scandalisés, à juste titre, si on ne leur attribuait qu'une moyenne globale. *A minima*, si l'on devait tenir pour pertinent le principe même d'un classement des universités, on devrait distinguer les mérites des différentes facultés qui les constituent.

Par ailleurs, le principe de ce classement est exclusivement fondé sur la recherche, et non sur la qualité de l'enseignement. Il ne tient aucun compte du niveau de satisfaction des étudiants ni de la pertinence des enseignements dispensés pour les carrières professionnelles des élèves. Surtout, il sanctionne le principe même d'un marché international de l'enseignement supérieur et de la recherche (ESR). Ce classement méconnaît la longue durée de la science pour la sacrifier sur l'autel d'une pure logique quantitative fondée sur la « bibliométrie ».

DE LA MANIPULATION DES CRITÈRES

Ainsi, l'un des critères du classement est le nombre de publications dans *Nature* et *Science*, ou encore d'autres revues listées dans le Science Citation Index. Celles-ci sont sélectionnées par leurs « facteurs d'impact », qui sont censés donner une mesure de leur qualité. Or leur pertinence est hautement contestable. D'abord parce qu'ils peuvent être manipulés par les rédacteurs, les comités de lecture, et surtout par les maisons d'édition des revues. En pratique, les facteurs d'impact sont fortement biaisés par les citations pléthoriques d'un petit nombre d'articles qui ne donnent aucune mesure de l'importance ou de l'originalité intrinsèque d'un texte moins cité publié dans la même revue. La qualité de la recherche produite par un établissement est également évaluée par le nombre de lauréats du prix Nobel et de médailles Fields parmi les anciens élèves et l'actuel corps enseignant. Or, au même titre que les clubs de foot achètent leurs stars au mercato, les établissements peuvent engager des lauréats Nobel et autres célébrités pour qu'ils dispensent, généralement à temps partiel, quelques enseignements d'intérêt général. L'effort financier est négligeable eu égard au

Affiche d'une campagne d'un groupe d'opposants à la LPPR.

« retour sur investissement » espéré par la progression au classement. Enfin, cette évaluation se fonde sur les statistiques de citations des chercheurs fréquemment cités (*highly cited researchers*), dont on connaît les trafics.

LE RÔLE DE L'ARGENT

En réalité, le classement de Shanghai reflète surtout la puissance financière des établissements d'enseignement supérieur. Ainsi, les « collèges » des vieilles universités anglaises, comme Cambridge et Oxford, toujours bien notées, sont des grands propriétaires fonciers et perçoivent des loyers considérables. En 2018, le seul patrimoine foncier des collèges d'Oxford et Cambridge était estimé à 3,5 milliards de livres, soit une valeur supérieure à celui de l'Église d'Angleterre. On y retrouve ainsi des châteaux écossais et des gratte-ciel londoniens… Les capitaux des universités états-uniennes de la Ivy League (ensemble de huit universités privées les plus anciennes et prestigieuses), comme Harvard, sont alimentés par les dons généreux d'anciens élèves fortunés. Constitués en fonds de dotation (*endowments*), ils permettent aux universités d'investir dans le foncier. Avec un fonds de plus de 36 milliards de dollars, l'université Columbia de New York possède ainsi 216 édifices dans le nord-ouest de Manhattan (environ 1,3 million de mètres carrés), soit quasi toutes les propriétés entre la 100e et la 125e rue (côté ouest de la ville). Quant à Harvard, l'université la plus riche du monde, son fonds de dotation approche les 50 milliards de dollars, ce qui est l'équivalent du PIB actuel de la Tunisie. Ces largesses sont évidemment intéressées : d'une part, la valeur marchande des diplômes augmente avec les classements ; d'autre part, certaines universités états-uniennes « prestigieuses » préfèrent recruter les enfants d'anciens élèves (on parle de *legacy students*), plus enclins à financer ensuite leur *alma mater* que les étudiants « de première génération ». Les hiérarchies entre universités suivent ainsi celles des richesses. Il est absurde de faire croire que les universités françaises publiques pourraient concurrencer sur leur propre terrain des institutions privées qui fonctionnent ainsi depuis des siècles.

Si l'on devait tenir pour pertinent le principe même d'un classement des universités, on devrait distinguer les mérites des différentes facultés qui les constituent.

En réalité, le classement de Shanghai reflète surtout la puissance financière des établissements d'enseignement supérieur.

LA PLACE DE LA FRANCE

Mais surtout le classement de Shanghai ne tient aucun compte ni de la taille des universités, ni du nombre d'étudiants et d'enseignants, ni de l'origine des budgets, ni du rapport entre la dotation des établissements et la réussite de leurs étudiants. Pour progresser dans ce classement, il suffit donc de décréter la fusion de quelques établissements, à l'instar de ce qui fut fait en France par la création, par exemple, de l'université de Paris-Saclay et de Paris-Sciences-Lettres (PSL), qui ne sont en fait que des conglomérats de quelques grandes écoles et facultés, ce qui leur a permis de figurer respectivement à la 15e et à la 41e place, sans que les étudiants y trouvent un quelconque intérêt. Signalons que PSL n'englobe pas moins de onze établissements, dont l'Institut Curie, l'Observatoire de Paris et le Collège de France, certes bien choisis pour leur réputation, mais sans grand intérêt pour les étudiants – ainsi, le Collège de France ne délivre pas de diplômes et ne recrute sur les chaires statutaires que les chercheurs au sommet de leur carrière universitaire.
Le classement ne tient aucun compte non plus des frais d'étude perçus par les établissements, ▶

Le classement est largement fondé sur des critères biaisés. La recherche est mise en avant au détriment de la qualité de l'enseignement.

■ UNIVERSITÉS

▶ ni du mode de financement public ou privé, ni du type de recrutement du corps enseignant, ni des échelles de leurs salaires, ni surtout de la liberté académique. Aux États-Unis et au Royaume-Uni, les universités les plus prestigieuses (faudrait-il plutôt dire « les mieux notées » ?) sont en mesure d'exiger de leurs étudiants des sommes exorbitantes, si bien que ceux-ci doivent souvent s'endetter de manière démesurée, ce qui pèsera alors sur toute leur vie active.

DES EFFETS TOXIQUES

La France a été menée dans cette compétition tambour battant par le couple Nicolas Sarkozy-Valérie Pécresse. Tous les gouvernements successifs les ont suivis, sans que le pourcentage du budget national consacré à l'ESR ne soit significativement augmenté. La quête effrénée pour progresser dans le classement de Shanghai de quelques institutions françaises, soi-disant d'élite, exige que les moyens soient concentrés sur une poignée de campus, au détriment des autres universités, qui sont menacées de devenir de simples « collèges » de premier cycle. Leur paupérisation nuit évidemment au niveau des études. Une formation au rabais expose les diplômés à un risque accentué d'exploitation.

Chaque année, la presse française s'étrangle devant les classements décevants de nos universités. Dans son commentaire du vingtième palmarès, *le Monde* du 17 août 2023 relève que seuls 3,2 % des étudiants en France sont inscrits dans l'une des quatre institutions classées parmi les 100 premières du monde. Pour les États-Unis, qui ne comptent pourtant pas moins de 38 universités ainsi classées, seuls 6,3 % des étudiants relèvent de l'une des institutions supposées d'élite, tandis que l'immense majorité des étudiants doivent se contenter des universités appauvries gérées par les États.

POUR EN FINIR AVEC LES CLASSEMENTS

En concentrant des moyens sur quelques institutions favorisées, les gouvernements successifs de la France ont choisi de déshabiller Pierre pour habiller Paul. D'autres pays, comme l'Allemagne – laquelle pratique par ailleurs une politique très dure vis-à-vis des jeunes chercheurs et fonctionne de plus en plus selon la logique de l'appel à projets –, ont choisi d'ignorer purement et simplement ces classements contestables, car ils ont reconnu leurs effets toxiques. À titre d'exemple, les « meilleures » universités allemandes ne figurent au palmarès qu'aux rangs 55, 59, et 67, et personne ne s'en offusque.

Par ailleurs, même en Chine, où le Parti communiste avait été à l'origine du classement de Shanghai, le doute s'installe sur la pertinence de ce dernier. Malgré le peu de respect des libertés académiques qui caractérise leur modèle d'enseignement supérieur et de recherche, plusieurs universités chinoises ont annoncé en 2022 leur volonté de se retirer des classements internationaux.

La relance de la politique industrielle, le progrès social, l'émancipation des individus ne peuvent dépendre d'une compétition effrénée, guidée par des classements dont on aura compris l'absurdité, orientée par des intérêts de rentabilité à court terme. Les savoirs produits par les chercheurs et leurs universités ne sont pas des marchandises sur lesquelles on afficherait des prix dans un marché de dupes. Ils représentent des biens communs à partager pour promouvoir la qualité de vie des citoyens. La marchandisation des connaissances pose de plus des problèmes éthiques, notamment par le fétichisme qu'elle implique : leur production exige en effet du travail dont la valeur est dissimulée par des classements mis en vitrine. Enfin, cette compétition dans le travail scientifique implique une idéologie qui, certes, nous est imposée par le système qui le régit, mais qui doit être questionnée dans la perspective d'un savoir partagé, en particulier pour notre jeunesse étudiante.

La France a tout à gagner à faire valoir son propre modèle fondé sur le service public, la gratuité, le fonctionnariat des enseignants-chercheurs, le financement pérenne de la recherche fondamentale et l'égal financement des universités sur l'ensemble du territoire. ■

La quête effrénée pour progresser dans le classement de Shanghai de quelques institutions françaises, soi-disant d'élite, exige que les moyens soient concentrés sur une poignée de campus, au détriment des autres universités.

LES 100 MEILLEURES UNIVERSITÉS AU MONDE

Classement ARWU 2023 (extrait)

Top 100 Universities in ARWU 2023

2023 Rank	2022 Rank	Institution	Country/Region
1	1	Harvard University	United States
2	2	Stanford University	United States
3	3	Massachusetts Inst Tech (MIT)	United States
4	4	University of Cambridge	United Kingdom
5	5	University of California, Berkeley	United States
6	6	Princeton University	United States
7	7	University of Oxford	United Kingdom
8	8	Columbia University	United States
9	9	California Institute of Technology	United States
10	10	University of Chicago	United States
11	11	Yale University	United States
12	12	Cornell University	United States
13	13	University of California, Los Angeles	United States
14	15	University of Pennsylvania	United States
15	16	Paris-Saclay University	France

Paris-Saclay, fruit de la fusion de quelques grandes écoles et facultés, y occupe la quinzième place, après douze institutions états-uniennes et deux britanniques.

S'ILS LE DISENT…

Selon les responsables du classement académique des universités du monde (Academic Ranking of World Universities, [ARWU]), celui-ci serait le précurseur le mieux reconnu et le plus fiable des classements universitaires mondiaux, comparant les 1 000 premières universités de recherche « *sur la base d'une méthodologie transparente et de données objectives* » (https://www.shanghairanking.com/news/arwu/2023). Il existe d'autres classements, notamment celui du *Times Higher Education Supplement* (THES) de Londres.

***PIERRE SALVADORI, LUKAS TSIPTSIOS, VICTOR BURGARD, ANTOINETTE MOLINIÉ, MARIO RANIERI MARTINOTTI et GEOFFREY BODENHAUSEN sont des universitaires.**

Des Jours Heureux pour la recherche !

En 1944, les communistes Henri Wallon, Paul Langevin, Frédéric Joliot-Curie, avec toutes les forces du Conseil National de la Résistance, ont reconstruit l'Université publique, le CNRS, le CEA. Aujourd'hui, nous avons à nouveau besoin de construire des jours heureux pour la recherche. Nous voulons retrouver le sens de nos métiers : libérer notre travail des pressions financières et idéologiques, retrouver le plaisir de produire des savoirs nouveaux, affirmer l'utilité, et même la nécessité, de partager largement les connaissances dans la société.

Les propositions du PCF : https://www.pcf.fr/jours_heureux_pour_recherche.

Quelles perspectives pour la production d'énergie à partir de biomasse ?

La transition énergétique et l'abandon des ressources fossiles posent la question de l'approvisionnement en énergie qui ne peut pas reposer que sur l'électricité et aussi celle de la source de carbone qui peut servir de base à une industrie chimique biosourcée.

PAR BRUNO CHAUDRET ET MEHRDJI HÉMATI*

UTILISATION DE LA BIOMASSE POUR L'ÉNERGIE

Si le problème énergétique est important et fait l'objet de nombreuses études et prospectives, la nature de la source de carbone permettant la fabrication de biens essentiels est moins étudiée. Cela concerne, pêle-mêle, les médicaments, les vêtements, les outils de communications de transport, le stockage de l'électricité, etc. Cet aspect crucial est traité dans l'article d'Hélène Olivier-Bourbigou. Nous allons nous limiter ici à la pertinence d'utiliser une partie de la biomasse pour produire de l'énergie.

Dans ce contexte, différents organismes/acteurs dont EDF, l'ADEME, GRDF, le WWF, l'AIE et d'autres, proposent des scénarios qui font apparaitre une part grandissante de la biomasse dans les énergies renouvelables. Tout d'abord quelle définition donner à la biomasse ? D'après WWF, « *La biomasse, littéralement la masse du vivant, représente l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale présente sur terre et dans les océans. La biomasse terrestre se répartit entre des zones a forte concentration comme les zones forestières jusqu'aux zones plus pauvres que sont les déserts. C'est la plus ancienne source d'énergie utilisée par les êtres humains et toujours la première énergie renouvelable consommée en France aujourd'hui* ».

La version française est plus restrictive puisqu'il s'agit de « *la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers* »[1].

L'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques ne contribue pas à diminuer l'empreinte CO_2 de l'utilisation de l'énergie mais permet de ne pas l'augmenter, le CO_2 étant capté dans l'atmosphère pour produire la biomasse et y retournant après utilisation énergétique, le plus simple étant la combustion directe du bois. De plus, un intérêt de l'utilisation de cette biomasse, peu souvent mis en avant, est que le cycle naturel des végétaux, bois compris, conduit à la formation de méthane, qui, produit de manière diffuse et non captable, peut contribuer de façon significative à l'effet de serre.

L'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques ne contribue pas à diminuer l'empreinte CO_2 de l'utilisation de l'énergie mais permet de ne pas l'augmenter.

La mobilisation de la biomasse au service de la lutte contre le réchauffement climatique doit obéir à un certain nombre de principes.

La mobilisation de la biomasse doit être au service de la lutte contre le réchauffement climatique, mais doit obéir à un certain nombre de principes :

– la préservation de la biodiversité ;

– la satisfaction de nos besoins alimentaires, qui doit rester prioritaire sur l'usage de la biomasse pour le secteur de l'énergie ;

– les usages nobles du bois, qui doivent aussi être privilégiés *via* une sylviculture raisonnée. D'après un rapport de l'ADEME, la gestion durable des forêts et la revalorisation des filières doivent permettre de mobiliser un volume de biomasse-solide pour l'énergie correspondant à 15 % de la consommation énergétique de la France en 2050. À cet horizon, 25 % des forêts seraient laissées en libre évolution pérenne. En 2050, le volume de bois attribué à des usages énergétiques serait de 52 millions de mètres cubes équivalent bois rond par an (13,2 Mm^3 proviennent directement d'une exploitation en forêt dédiée à l'énergie ; 31,8 des connexes des industries du bois et du papier-carton, et ▶

7 du bois récolte hors forêt). Par ailleurs, les surplus de biomasse mobilisables (ressources fourragères, fumier, résidus de culture et déchets de l'industrie agroalimentaire) seraient de 45 à 50 Mt de matière sèche mobilisables par an, soit environ un tiers du surplus produit.

De ces scénarios, on peut déduire que la valorisation des déchets végétaux et des matières forestières non nobles peut permettre de produire une quantité non négligeable d'énergie.

Considérons les diverses utilisations de la biomasse, et en premier lieu le chauffage individuel au bois. Le chauffage individuel au bois représente la première source d'énergie renouvelable en France (devant l'hydraulique, qui arrive en deuxième position) ; il représente a lui seul, en 2014, près de 60 % de la chaleur renouvelable sur le territoire, et environ deux tiers de la production d'énergie renouvelable a partir de biomasse solide ou gazeuse[2]. Cette autoexploitation concerne annuellement plus de 20 millions de mètres cubes par an de bois bûches. L'autoapprovisionnement en bois bûches serait évalué en outre à 30 000 emplois informels. Ces emplois pourraient augmenter de 50 % dans les dix ans à venir.

DES TECHNOLOGIES POUR VALORISER LA BIOMASSE

La deuxième utilisation possible de la biomasse est la production de gaz, essentiellement du méthane, appelé biométhane pour mettre en avant son caractère renouvelable, mais de même nature chimique que le gaz naturel fossile. Dans son rapport daté de 2018, l'ADEME propose un scénario conduisant à l'autonomie de la France en matière d'approvisionnement en gaz[3]. Dans le contexte international actuel, beaucoup plus tendu qu'en 2018 en ce qui concerne cet approvisionnement, quelles sont les pistes pouvant conduire à ce résultat ? Et sont-elles réalistes ?

La filière biométhane offre trois avantages : le développement d'énergies renouvelables non intermittentes, le stockage d'énergie sur de longues périodes et l'accroissement de l'indépendance énergétique nationale. L'ADEME propose dans le rapport mentionné que la filière biométhane représente à terme (vers 2050) plus de 50 % du gaz présent dans les réseaux de distribution et de transport français (scénario ADEME : 56 % ; scénario GRDF : 74 %). Cependant, d'après les différentes études de gisement réalisées et sous condition d'une gestion raisonnée de ces ressources, la disponibilité des matières organiques méthanisables sur le territoire est insuffisante pour satisfaire ces attentes.

Les acteurs du secteur cherchent donc aujourd'hui à développer des procédés innovants permettant de valoriser de nouvelles ressources de matières organiques. Parmi ces filières, dites « de nouvelle génération », on peut mentionner la filière biométhane de 2e génération (2G) qui cible les biomasses et déchets organiques non méthanisables : combustibles solides de récupération CSR, bois B…).

Aujourd'hui, les solutions technologiques les plus communément envisagées pour parvenir à une production de biométhane 2G sont celles qui consistent en un couplage entre un procédé de pyrogazéification et un procédé de méthanation catalytique ou biologique.

La deuxième utilisation possible de la biomasse est la production de gaz, essentiellement du méthane, appelé biométhane pour mettre en avant son caractère renouvelable.

L'ADEME propose trois technologies pour arriver à ce résultat :

1. La *méthanisation*. Il s'agit d'un procédé de fermentation des déchets verts, des résidus agricoles et des boues de station d'épuration qui produit un mélange de gaz, essentiellement du méthane (CH_4) et du dioxyde de carbone (CO_2) en proportions variables mais de l'ordre de 2/3 CH_4 et 1/3 de CO_2 à 60 % CH_4 et 40 % CO_2. Ce procédé est intéressant mais pose des questions quant à l'origine des intrants et quant à la taille des installations. Selon plusieurs associations, le développement de méthaniseurs de très grande taille (pour 100 à 110 TWh/an) pourrait être nuisible.

D'après WWF devrait être privilégiée la construction de methaniseurs de taille modérée sous forme de projets collectifs territoriaux regroupant quelques exploitations agricoles (y compris paysannes et familiales) et qui respectent les critères de durabilité tels que le bilan carbone positif (effets directs avec les fuites de méthane, effets indirects, transport de la matière et usages des sols), le bilan biodiversité positif et la compatibilité avec la transition agroécologique des systèmes de production.

2. La *méthanation* ou *hydrogénation catalytique du CO_2*. Ce procédé permet d'utiliser le CO_2 provenant de méthaniseurs,

d'installations industrielles, de gazéification du bois ou même directement capté dans l'atmosphère par des procédés chimiques pour le transformer en méthane. À l'heure actuelle, ce sont les deux premières sources qui peuvent être utilisées. Ce procédé ne permet pas de réduire la présence de CO_2 dans l'atmosphère mais n'en produit pas en excès.

La réaction $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$ peut être intéressante, à condition que l'hydrogène soit « vert », c'est-à-dire qu'il provienne de l'électrolyse de l'eau, elle-même utilisant une électricité provenant d'énergies renouvelables ou nucléaire. Il est ainsi fabriqué du méthane facile à stocker et à transporter dans des installations existantes (réseaux de gaz naturel) et est vu comme un moyen efficace de stocker les énergies renouvelables. En effet, les procédés actuels de stockage de l'hydrogène sont coûteux et nécessitent une technologie sophistiquée ce qui conduit à préférer l'usage du méthane.

Une alternative intéressante à la méthanation catalytique est la méthanation biologique. Dans ce cas, c'est un cocktail enzymatique qui permet de transformer un mélange CO_2/H_2 en méthane.

3. La *pyrogazéification*. Elle consiste à chauffer à haute température des résidus non fermentiscibles (elle va être détaillée ci-dessous). Si l'on exclut le chauffage au bois, la gazéification est proposée comme première solution de valorisation des résidus forestiers.

LA PYROGAZÉIFICATION, UNE VOIE PROMETTEUSE ?

Face à la nécessité grandissante d'améliorer l'efficacité énergétique des moyens de production d'énergie « verte », la pyrogazéification des biomasses lignocellulosiques apparaît actuellement comme une solution technologique intéressante. Elle ouvre la possibilité de passer d'une monovalorisation thermique de la ressource en combustion à une conversion thermochimique à haut rendement énergétique permettant de produire un gaz de synthèse riche en H_2, CO et CH_4. Ce gaz peut avoir plusieurs applications, il peut notamment servir à la production de gaz naturel et d'hydrogène « verts », qui sont deux ressources indispensables pour la transition énergétique et dont l'approvisionnement devient, par les temps qui courent, un enjeu stratégique.

Ce gaz de synthèse peut avoir plusieurs applications, il peut notamment servir à la production de gaz naturel et d'hydrogène « vert », qui sont deux ressources indispensables pour la transition énergétique et dont l'approvisionnement devient un enjeu stratégique.

Ainsi, parmi les solutions technologiques permettant de produire du biométhane en quantités importantes, la filière pyrogazéification de biomasse pourrait constituer une voie prometteuse, industrialisable dans un futur très proche. Or la biomasse, bien que reconnue comme renouvelable, est une ressource fortement soumise aux concurrences d'usage entre les différentes filières de valorisation. Devant ces difficultés, les acteurs de la filière ont décidé de diversifier leurs approvisionnements vers des ressources plus atypiques, telles que les résidus ligneux de tout genre (agricoles, papetier, agroalimentaire…) ou des déchets organiques avec peu ou pas de débouchés, tels que les boues des Step (stations d'épuration des eaux usées) ou les CSR (combustibles solides de récupération). De plus, suivant les cas, ces déchets (intrants) sont vus comme des effluents à traiter dont le coût peut être parfois nul, voire négatif. C'est dans ce contexte que s'inscrivent les efforts actuels de développement de la filière de production de biométhane.

D'un point de vue purement chimique, la gazéification est la transformation d'un combustible solide (biomasse, charbon, déchets solides) en un gaz sous l'action de la chaleur et d'un réactif oxydant (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, oxygène pur ou air).

Pour être transformé, par voie de méthanation catalytique, en biométhane injectable dans les réseaux de gaz naturel, le syngas (gaz de synthèse) produit doit contenir, en dehors de très faibles teneurs en micropolluants gazeux, une faible teneur en gaz inertes (N_2) et un rapport molaire H_2/CO proche du rapport stœchiométrique des réactions de synthèses envisagées. Ces critères éliminent pratiquement les procédés de gazéification à l'air et désignent les procédés de gazéification par la vapeur d'eau ou par les mélanges oxygène pur et vapeur d'eau, seuls capables de produire un rapport molaire H_2/CO adapté.

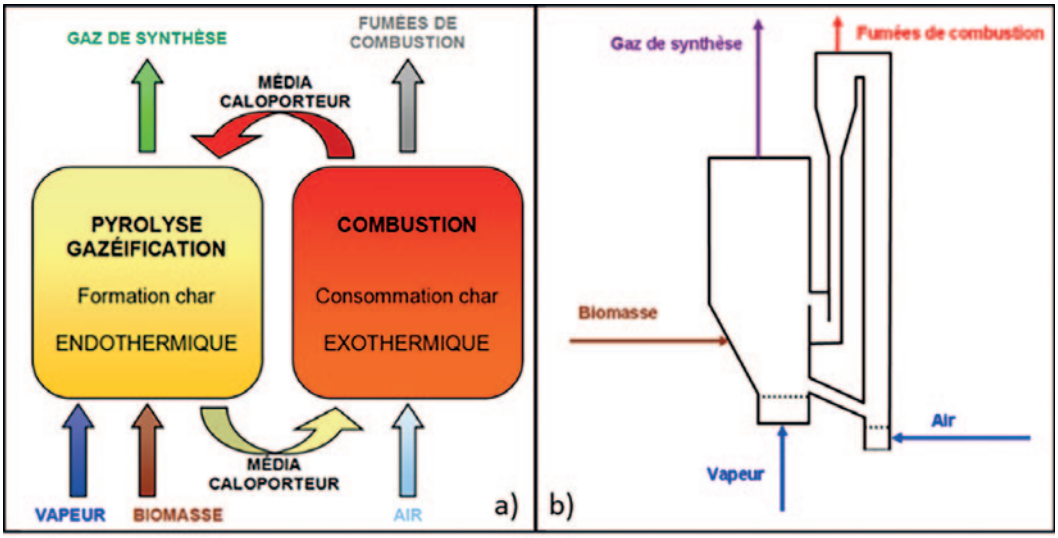
Deux visions complémentaires émergent actuellement sur la filière thermochimique :

1. La gazéification à très haute température (> 1200 °C en réacteur à flux entraîné) destinée à produire un gaz riche en H_2 et CO, dépourvu de méthane et d'espèces condensables telles que les « goudrons ». L'agent oxydant utilisé dans ces procédés est un mélange d'oxygène pur et de vapeur d'eau.

2. La gazéification en lit fluidisé entre 800 et 900 °C avec valorisation soit en cogénération, soit en production de gaz naturel « vert » ou en production de mélanges méthane/hydrogène « verts ». Ces procédés fonctionnant à plus basse température permettent de conserver le méthane produit à l'issue de la ▶

LE PROCÉDÉ FICFB

Schéma des réacteurs de gazéification et de combustion



■ ÉNERGIE

gazéification tout en éliminant partiellement les « goudrons » et autres espèces indésirables par reformage catalytique complété par un lavage à froid. La présence d'une proportion élevée de méthane – supérieur à 10 % pour l'intrant boisé et supérieur à 15 % pour les CSR – permet d'obtenir un gaz de synthèse dont le PCI (pouvoir calorifique inférieur, quantité totale de chaleur dégagée par la combustion) élevé (> 11 MJ/Nm³) est valorisable aisément en cogénération (production simultanée d'électricité et de chaleur). Le rapport H_2/CO élevé (> 2) associé à la production importante de méthane au cours de la gazéification rend particulièrement attractive sa valorisation ultérieure en méthanation. À titre d'exemple, dans le tableau ci-dessous sont présentées les caractéristiques des syngas résultant de la gazéification de la sciure de bois et des boues de Step en lit fluidisé circulant obtenus au Laboratoire du génie chimique (LGC) de Toulouse. Dans ce procédé, constitué de deux réacteurs interconnectés – double lit fluidisé circulant –, la combustion *ex situ* d'une partie du résidu carboné produit par la réaction de pyrolyse (char) permet d'assurer l'autonomie thermique du système (schéma page 49). Cette technologie, appelée aussi FICFB (Fast Internally Circulating Fluidized Bed), a été développée à l'université technologique de Vienne[4].

La valorisation des déchets végétaux et des résidus de bois peut être intéressante du point de vue écologique et économique.

Par ailleurs, dans le cadre du projet Gaya, subventionné par l'ADEME, ont été construites et mises au point au LGC une installation pilote de gazéification à lit fluidisé circulant et à Saint-Fons, par Engie, un pilote semi-industriel de gazéification à lit fluidisé circulant couplé à une épuration du syngas et à une méthanation catalytique en lit fluidisé. L'un des avantages de ce procédé est la possibilité de reformage catalytique des goudrons et la capture de CO_2 dans le lit fluidisé pour produire un syngas riche en hydrogène. À titre d'exemple, en remplaçant les particules d'olivine, utilisée habituellement comme média fluidisé, à 850 °C par le CaO à 645 °C, une forte augmentation de la teneur en H_2 (de 36-42 % à 65-75 %) a été obtenue ainsi qu'une nette diminution des teneurs en CO_2 (de 20-25 % à 6-13 %), CO (de 19-24 % à 4-8 %) et goudrons (de 4-8 g/Nm³ à 0,5-3,5 g/Nm³).

EN RÉSUMÉ

La valorisation des déchets végétaux et des résidus de bois peut être intéressante du point de vue écologique et économique. On peut produire ainsi par différents procédés du méthane injectable dans les réseaux actuels de distribution de gaz, mais certains principes doivent être respectés. L'exploitation à grande échelle des forêts serait une catastrophe pour la biodiversité et peu intéressante du point de vue économique ; en effet, les nécessités de transport, la création de grandes usines de *power to gas* fonctionnant en continu et nécessitant des temps longs de démarrage et d'arrêt serait contre-productive. En revanche des unités de taille modeste, dispersées dans le territoire et valorisant les déchets locaux pourraient apporter une contribution intéressante à la production locale d'énergie. Des unités de ce type pourraient utiliser des dispositifs innovants permettant le couplage à des sources d'énergie renouvelables et représenteraient un moyen de stocker chimiquement sous forme de gaz ces énergies renouvelables. ■

***BRUNO CHAUDRET est directeur de recherches émérite au CNRS et membre de l'Académie des sciences.**

MEHRDJI HEMATI est professeur émérite à l'Institut national polytechnique de Toulouse.

GAZÉIFICATION DE LA BIOMASSE

Gaz de synthèse (syngas) ?

Résultats de gazéification en réacteur à lit fluidisé (LGC)
T : 800-850 °C, Rapport kg vapeur d'eau/ kg Bdaf : 0,6-2

Intrant : Biomasse boisée ⇨ Sciure de bois
Syngas :
Composition : 36-42% H_2, 19-24% CO, 20-25% CO_2, 9-12% CH_4 et 2-2,5% C_2Hx +?% impuretés (goudrons, H_2S,…)
PCI (pouvoir calorifique inférieure) : 12,9-13,6 MJ/Nm³
Rapport H_2/CO : 1,8-2
Taux de production : 1-1,5 Nm³/(kg Bdaf)

Intrant : Déchet organique ⇨Boues de STEP
Syngas :
Composition : 38 à 48 % H_2, 19 à 14% CO, 18 à 21% CO_2, 10-15 % CH_4 et 10 -2% C_2H_X +?% impuretés (goudrons, H_2S,…)
PCI (pouvoir calorifique inférieure) : 13,5-19 MJ/Nm3
Rapport H_2/CO : 2 à 3,3
Taux de production : 0,9- 1,4 Nm³/(kg Bdaf)

définitions :
Intrants : Biomasse – déchets
Bdaf : intrant sec et sans cendre

Syngas produit adapté à la { ***Méthanation*** / ***Cogénération*** }

Les caractéristiques des syngas résultant de la gazéification de la sciure de bois et des boues de Step[5].

1. ADEME, « Feuille de route R&D de la filière chimie du végétal » et « La stratégie de l'ADEME pour une bioéconomie durable », mai 2018.

2. https://www.ecologie.gouv.fr/biomasse-energie

3. ADEME, brochure réf. 010305, août 2017.

4. Hermann Hofbauer et al., « Six years experience with the FICFB-gasification process », *Proc. ASME Turbo Expo.*, Vienne, 2004.

5. Sébastien Pécate, *Gazéification de la biomasse en lit fluidisé dense et circulant entre 750 et 850 °C : étude hydrodynamique et réactive*, thèse de doctorat de l'INP de Toulouse, 2017.

Sid Ahmed Kessas, *Étude expérimentale de pyrolyse et de vapogazéification des boues de STEP en réacteur à lit fluidisé entre 700 et 900 °C. Comparaison avec les déchets boisés*, thèse de doctorat de l'INP de Toulouse, 2019.

Thomas Esteves Pereira, *Pyrolyse et vapogazéification des CSR en lit fluidisé entre 700 et 850 °C : production d'un gaz de synthèse riche en hydrogène*, thèse de doctorat de l'INP de Toulouse, 2022.

Biomasse, quel avenir pour l'industrie chimique ?

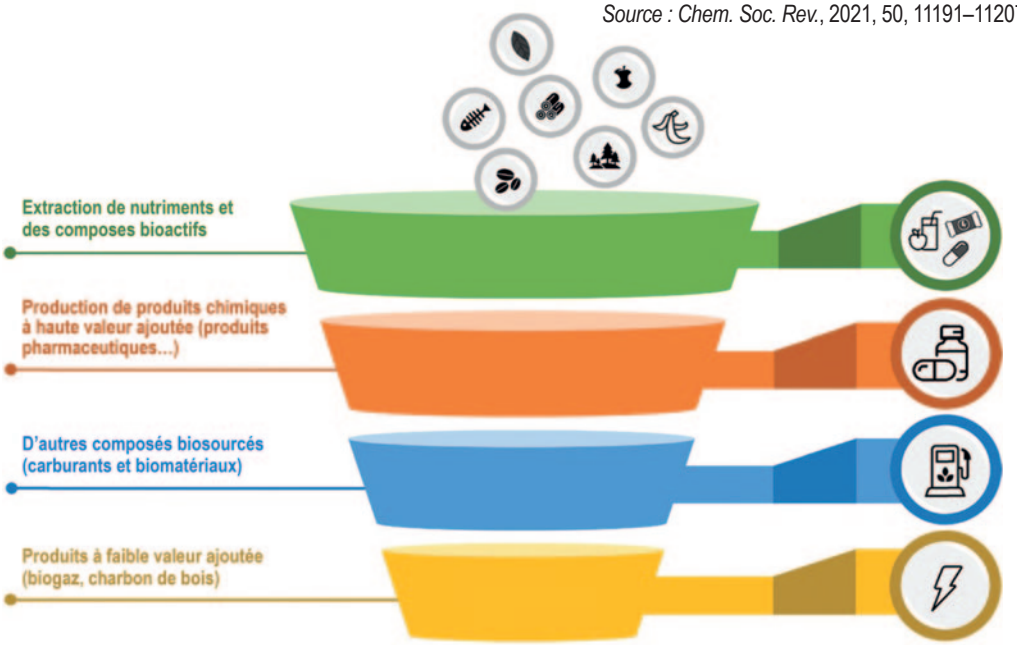
Dans une période marquée par une prise de conscience forte et de plus en plus large des enjeux environnementaux, la France s'inscrit dans l'objectif européen de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 50 % par rapport à 1990 (« Fit for 55 ») d'ici à 2030 et vise la neutralité carbone en 2050.

PAR HÉLÈNE OLIVIER-BOURBIGOU*

VALORISATION DE LA LIGNOCELLULOSE

Approche en cascade pour la valorisation des déchets et résidus dérivés de la biomasse : des produits de valeur élevée aux résidus.

Source : Chem. Soc. Rev., 2021, 50, 11191–11207.



Parmi les différents secteurs émetteurs de GES, dont le CO_2, le secteur industriel est un gros émetteur[1]. L'industrie chimique comprend des centaines de chaînes de valeur, la plupart d'entre elles utilisent comme matière première un des sept intermédiaires dits de « première génération », ou « *high value product* », qui comprennent les oléfines (éthylène et propylène, 255 Mt/an) et les aromatiques (benzène, toluène et xylènes, 110 Mt/an) dont la croissance est essentiellement tirée par celle des polymères, auxquels s'ajoute l'ammoniac (185 Mt/an) et le méthanol (110 Mt/an). Ces intermédiaires sont produits essentiellement à partir de ressources fossiles utilisées à la fois comme source d'énergie et comme ressource de carbone et d'hydrogène. Des secteurs de l'industrie, l'industrie chimique est le plus gros consommateur de ressources fossiles, pétrole et gaz (14 % de la demande de pétrole et une part de la demande en gaz), mais le 3e émetteur de CO_2 (responsable en 2019 de 15 % du total des émissions de GES [8,4 $GtCO_2$] de l'ensemble du secteur industriel). L'industrie pharmaceutique est également concernée, avec des enjeux importants de développement durable : elle doit renouveler le portefeuille de médicaments et lancer le plus vite possible de nouvelles thérapies accessibles au plus grand nombre.

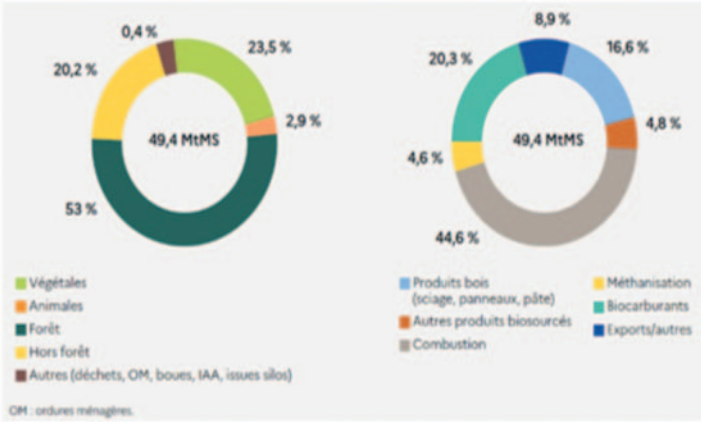
On va voir que le recours à la biomasse est un levier incontournable pour contribuer à la défossilisation de l'industrie pour produire des intermédiaires chimiques de première nécessité et des médicaments de demain.

QUELLES OPTIONS POUR DÉCARBONER L'INDUSTRIE CHIMIQUE ?

Tout d'abord, citons la réduction de la consommation d'énergie avec l'utilisation de l'hydrogène bas carbone, l'électrification des procédés et le captage du CO_2, son stockage et son utilisation (CCUS). Mais ce n'est pas possible d'imaginer une chimie sans carbone. Le deuxième levier concerne la réduction des intrants fossiles avec une meilleure efficacité de leur utilisation, d'une part, et, d'autre part, en faisant appel à d'autres sources de carbone comme le CO_2, la biomasse ou en développant le recyclage.

Parmi les solutions proposées dans la stratégie nationale bas carbone (SNBC), l'utilisation de la biomasse – et l'économie circulaire de la biomasse – paraît incontournable pour contribuer à la décarbonation de l'industrie, en dehors de l'alimentation humaine et animale, et à la production de biocarburants pour la mobilité. C'est aussi une forme d'économie circulaire (production, mobilisation, transformation et recyclage) si on intègre les déchets agricoles ou forestiers, par exemple. Mais les enjeux sont importants : accessibilité (physique et économique) de la biomasse sans impact environnemental sur les sols, la bio- ▶

CHIMIE



Répartition massique de la biomasse par type de biomasse et tous usages non alimentaires en 2017 en France
(rapport ADEME « Transition 2050 »)

- Biomasses mobilisées : 49,4 Mt de matière sèche (France 2017).
- Forte majorité de ressources bois.
- Ressources forestières : valorisation énergétique plus importante de biomasse via les coproduits biosourcés.
- Agriculture : la valorisation des résidus de culture et des effluents d'élevage devient la norme.
- Cultures énergétiques en développement, en particulier les cultures intermédiaires.

diversité ou les ressources en eau, et cela tout en étant capable d'accroître les puits de carbone *via* la biomasse[2].

En France, la biomasse est définie comme « *la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers* »[3]. Ces gisements de biomasse sont très divers quant à leur nature, composition, qualité, volume, possibilité de mobilisation et usage.

Parmi les différents types de biomasses mobilisables et exploitables pour la chimie, la biomasse lignocellulosique (constituée de 40-50 % d'hémicellulose, 20-30 % de lignine et 5 % autres) représente une des ressources les plus abondantes en carbone sur terre. Elle comprend également les déchets (agricoles, d'exploitation forestière, de l'industrie du bois), les cultures dédiées (miscanthus, switchgrass [*Panicum vergatum L.*]…) ainsi que les taillis à courte rotation (eucalyptus…).

L'industrie papetière et la production de bioéthanol génèrent chaque année plus de 50 millions de tonnes de lignines industrielles dans le monde (polymères phénoliques, amorphes et ramifiés). Les lignines sont le plus souvent brûlées sur les sites de production alors qu'elles contiennent de nombreuses molécules d'intérêt. La valorisation de cette ressource pour la chimie doit être plus attractive que son utilisation comme combustible[4]. Encore émergente, cette industrie (produits chimiques « verts », alcools, résines et plastiques biosourcés, plates-formes de produits chimiques, composites à base de bois…) ouvre de multiples perspectives dans de nombreux secteurs et peut connaître un développement comme alternative à l'industrie chimique à base de ressources fossiles et pour répondre à la demande, en augmentation, de matériaux ou produits « verts ». Cependant, la forte complexité de la lignine, son hétérogénéité (selon l'âge, l'environnement de la plante), ou encore son caractère insoluble freinent l'engouement des industriels. La connaissance de cette ressource (caractérisation avancée) et sa transformation (fonctionnalisation spécifique ou production de monomères polyfonctionnels pouvant être utilisés comme molécules plate-forme) restent compliquées mais présentent un potentiel intéressant, comme le montre le nombre croissant de publications dans ce domaine.

Les enjeux pour un déploiement à plus grande échelle de la chimie biosourcée concernent donc essentiellement les coûts de production par rapport aux voies issues du pétrole ainsi que la sécurité d'accès à la ressource et le développement des filières d'approvisionnement : la difficulté majeure pour un usage industriel des produits biosourcés (usage non énergétique et non alimentaire de la biomasse) réside dans le besoin d'un approvisionnement en ressources stable et pérenne en quantité, qualité et coût[5].

La construction de bioraffineries[6] exploitant les synergies entre les différentes transformations de la biomasse, par exemple entre la production de biocarburants et la production de bioproduits est un des enjeux pour un déploiement à plus grande échelle de la chimie biosourcée. C'est le secteur des biocarburants qui a mis en lumière ces dernières années le concept de bioraffinerie.

Par ailleurs, il faut souligner que les bénéfices environnementaux des produits biosourcés dépendent de la biomasse utilisée, de sa production et de son caractère renouvelable, du procédé mis en œuvre, de l'utilisation du produit et de sa fin de vie. Ainsi, une analyse de cycle de vie (ACV) des produits biosourcés est nécessaire pour quantifier les bénéfices ou les impacts réels. De plus, il est aujourd'hui reconnu que substituer l'ensemble des matières premières non renouvelables par de la biomasse est illusoire, d'autant plus si le niveau de consommation des ressources continue à être aussi élevé.

QUELLE CHIMIE AVEC LA BIOMASSE ?

L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV)

L'ACV est une méthode d'évaluation visant à quantifier les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service ayant un objectif d'écoconception ou permettant de choisir le produit ou service le plus performant. Elle étudie tous les impacts potentiels sur l'environnement et les consommations de ressources, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement des déchets (« du berceau à la tombe »). C'est une approche globale, multiétapes et multicritères, normée (ISO 14040-44) et recommandée par l'Union européenne.

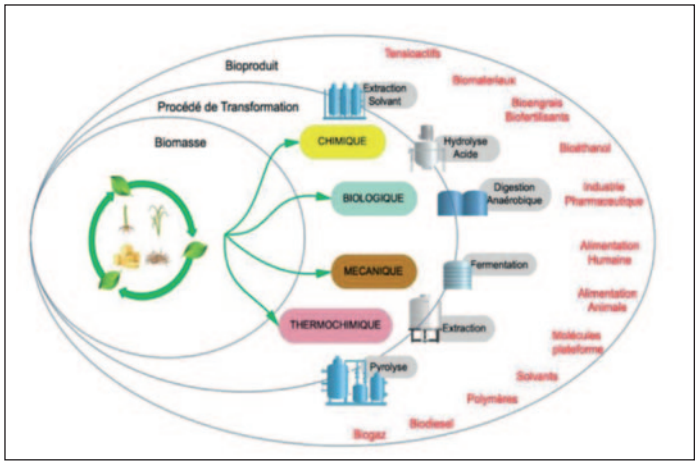
QUELS PRODUITS ?

On distingue généralement trois grandes catégories de produits biosourcés industriels, à usage non alimentaire et non énergétique, partiellement ou totalement issus de la biomasse :
– les matériaux (plastiques et composites) ;
– les molécules chimiques et grands intermédiaires (monomères, tensioactifs, solvants, lubrifiants…) ;
– les intermédiaires pour la chimie fine et la pharmacie, tels que les API (*active pharmaceutical ingredients*) et les BC (*bioactive compounds*).

Ces produits peuvent être obtenus à partir de sources de biomasse : plantes oléagineuses (colza, tournesol, soja…), plantes amidonnières (maïs, blé, pomme de terre…) et sucrières (betterave…), plantes lignocellulosiques (riches en cellulose : bois, paille, lin, chanvre…), résineux (pin…), ressources sylvicoles, plantes herbacées, micro- et macroalgues, écoproduits ou sous-produits industriels organiques… La multiplicité des sources de biomasse, des technologies de transformation (prétraitement pour fractionner les différents composants de la matière végétale, catalytique, thermochimique, biochimique…) et la diversité des produits et secteurs d'application expliquent la complexité des filières et la grande diversité d'acteurs : agro-industriels, chimistes (des sucres, du bois), plasturgistes…

Il existe deux approches principales pour le développement de la chimie biosourcée.

1. La substitution des molécules intermédiaires pétrochimiques par des molécules biosourcées ayant des fonctionnalités similaires. Le matériau final restera le même, c'est une alternative aux produits d'origine fossile. Cette approche permet au biosourcé de s'intégrer facilement dans les filières existantes (*drop in*), soit pour faire des produits 100 % biosourcés ou partiellement biosourcés.



2. La création de nouveaux produits, dotés de fonctionnalités novatrices pour répondre à un besoin plus important des industries chimiques et proposer aux consommateurs des produits toujours plus innovants. L'introduction de ces nouveaux bioproduits dans les chaînes de valeur reste un défi en raison de la résistance au changement des acteurs de l'industrie. La production de grands intermédiaires oléfiniques et oxygénés (polyols, diacides) et de polymères à partir de biomasse lignocellulosique est néanmoins amorcée.

La Commission européenne estime que les produits biosourcés et les biocarburants représentent environ 57 G€ de chiffre d'affaires annuel et quelque 300 000 emplois[7]. Elle anticipe un taux de croissance de la part de produits biosourcés dans l'ensemble des ventes de produits de la chimie de 20 % par an dans les années à venir. La production actuelle de produits chimiques et de matériaux biosourcés provenant des biorafineries de l'UE est estimée à 4,6 millions de tonnes. Il a été estimé un potentiel de 7,7 millions de tonnes à l'horizon 2030 avec le lancement de nouvelles bioraffineries et l'augmentation de la capacité de production des bioraffineries existantes (scénario optimiste).

Le statut de vingt-cinq produits primaires[8] en termes de maturité technologique montre qu'un certain nombre d'entre eux est proche de la commercialisation.

Ainsi, le procédé Futurol, mis au point entre 2008 et 2018 et actuellement commercialisé par Axens pour la production de bioéthanol de 2e génération, pourrait être industrialisé prochainement sur une plate-forme chimique dans le sud-ouest de la France. Le lieu a été identifié, et des équipes travaillent sur le montage financier du projet pour une installation de taille raisonnable, de l'ordre de 50 000 t/an d'éthanol, pour faciliter son approvisionnement.

Par ailleurs, le bioéthylène et ses dérivés (monoéthylène glycol en particulier), l'acide lactique et polylactique, le 1,4-butanediol, l'acide succinique ou encore le bio-isobutanol, qui permettent l'accès à de nombreux dérivés biosourcés, sont déjà produits à l'échelle commerciale.

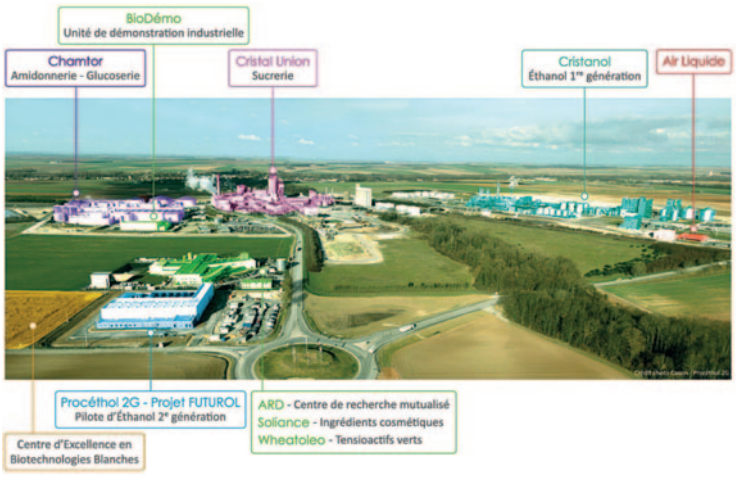
Certains bioproduits dominent la production globale (éthanol, acide lactique, propanediol…), d'autres n'ont pas d'équivalent pétrosourcés (xylitol, furfural, acide furandicarboxylique [dit FDCA, pour furan *dicarboxylic acid*], farnésène).

QUELQUES EXEMPLES DE DÉVELOPPEMENT

Cas de l'acide acrylique

Plus de 6 millions de tonnes d'acide acrylique fossile auront été produites cette année (3,3 Mt en 2006).

L'acide acrylique biosourcé peut être utilisé dans des applications diverses, des couches pour bébés aux peintures d'intérieur, offrant des solutions plus durables adaptées à une large gamme de produits de consommation. La production de bioacide acrylique est encore très faible et au stade pilote (environ 300 t/an). Les voies d'accès à ce composé sont diverses. En s'appuyant sur la technologie de conversion de Cargill (voie par conversion de l'acide lactique déjà commercialement prouvée) et le savoir-faire d'IFPEN-Axens en matière de catalyseurs et d'industrialisation, un projet de conversion à grande échelle d'acide lactique ▶

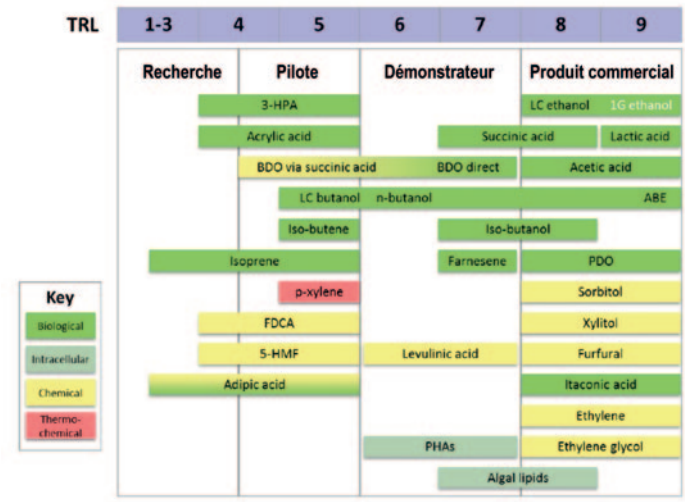


LA BIORAFFINERIE DE BAZANCOURT-POMACLE

- Positionnée au cœur d'un grand bassin céréalier et betteravier.
- Accès privilégié aux substrats dits de « première génération » (amidon, glucose, saccharose).
- Participation dans le projet Futurol.
- Avenir pour les sucres issus de l'hydrolyse de la biomasse lignocellulosique, de type C5 (xylose, arabinose…) et C6 (glucose, mannose…).

■ CHIMIE

STATUT DE 25 PRODUITS PLATE-FORME ISSUS DE SUCRES (en première étape)

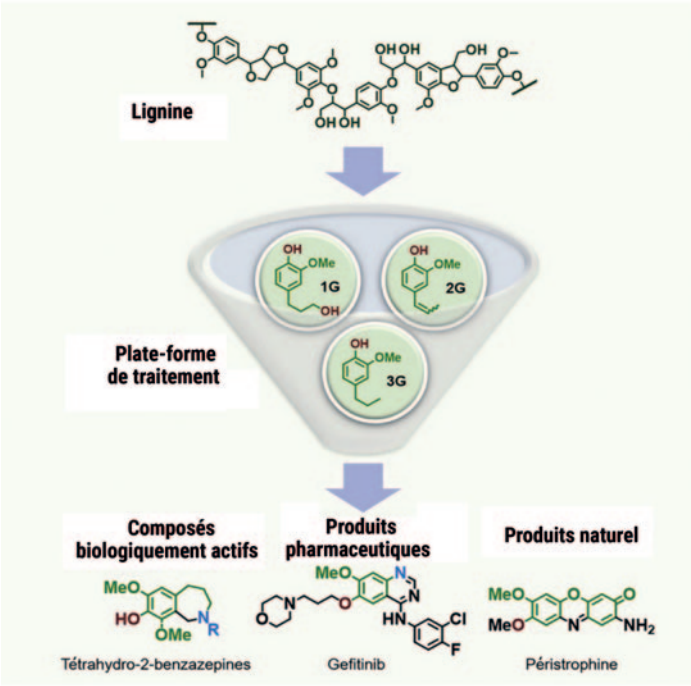


▶ en acide acrylique biosourcé est en cours avec pour ambition de réduire les émissions de gaz à effet de serre de plus de 50 %.

Les biopolymères

Malgré un taux de croissance moyen estimé à 10 % par an jusqu'en 2035 pour les plastiques, la part des plastiques biosourcés (produits à partir de matières issues de la biomasse, totalement ou partiellement) ne représenterait que 1,7 % des plastiques produits au niveau mondial à cette échéance ; en 2018 étaient produites dans le monde 335 Mt de plastiques, dont 1 % seulement biosourcé. L'emballage reste le domaine d'application des bioplastiques le plus important avec presque 53 % (1,14 Mt) du marché total des bioplastiques en 2019, mais va vers une croissance des autres segments de marché : automobile et transport, bâtiment, construction[9]… Les bioplastiques peuvent être biodégradables ou non. Dans le cas des biopolymères non biodégradable, le focus est mis sur le PEF (polyéthylène furanoate), un nouveau polymère qui devrait pénétrer le marché et qui présente des propriétés barrières et des propriétés thermiques supérieures au PET (polytéréphtalate d'éthylène). La création de nouveaux plastiques biosourcés avec l'analyse de leur cycle de vie est un processus long, coûteux et risqué pour l'industrie chimique. Certains bioplastiques peuvent par ailleurs perturber les chaînes de tri des autres plastiques, comme les PET, et ils ne peuvent devenir du compost que dans certaines conditions qui sont encore en cours d'évaluation.

TRANSFORMATION DE LA LIGNINE EN MOLÉCULES PLATES-FORMES ET MÉDICAMENTS



Biomasse pour les médicaments

Quelques exemples de molécules plates-formes dérivés de la biomasse utilisées comme matière première pour la synthèse de dérivés pharmaceutiques : les acides (succinique, lactique), les aminoacides (aspartique, glutamique), le glycréol, le xylitol… À noter que, pour une utilisation en pharma, les contraintes de purification sont importantes. Le furfural (et l'acide furoïque) est également un intermédiaire important : 7 % de sa production sont utilisés par l'industrie pharmaceutique et l'agriculture[10]. La biomasse lignocellulosique (partie aromatique dérivée de la lignine) est également une ressource intéressante pour la construction de molécules actives.

CONCLUSION

L'industrie chimique produit aujourd'hui l'essentiel des biens de consommation courant, et ce à partir de ressources fossiles. Sa transformation pour créer une nouvelle industrie biosourcée est essentielle, mais se heurte à plusieurs difficultés d'ordre :
– *Scientifique* : vu la nature des produits de base, les mécanismes de transformation peuvent être très complexes.
– *Écologique* : les produits de base de cette industrie ne doivent pas être en compétition avec la chaîne alimentaire ni donner lieu à plus de pollution ou de destruction de la biodiversité.
– *Économique* : la matière première est dispersée et doit conduire à repenser les modèles économiques.
De nombreux programmes de recherche académiques et industriels sont à l'heure actuelle en cours sur ces sujets. ■

***HÉLÈNE OLIVIER-BOURBIGOU est responsable de programme et coordinatrice de la recherche fondamentale à IFPEN.**

1. https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2022.
2. ANCRE, groupes programmatiques n° 1 « Biomasse » et n° 2 « Industries et agriculture », feuille de route « Les enjeux de la contribution de la biomasse à la décarbonation de l'industrie », déc. 2021.
3. ADEME, « Feuille de route R&D de la filière chimie du végétal - La stratégie de l'ADEME pour une bioéconomie durable », mai 2018.
4. « État de l'art sur la production de molécules chimiques issues du bois en France », rapport d´information fait au nom de la commission des finances sur l'enquête de la Cour des comptes relative aux soutiens à la filière forêt-bois, sept. 2015.
5. ADEME, rapport « Transition 2050 », travaux sur la mobilisation de la biomasse, son développement en cohérence avec les usages, nov. 2021).
6. Farid Chemat et Maryline Abert Vian, « Bioressources pour une chimie durable sans pétrole », Actualité chimique, no 469, janv. 2022,
7. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/biotechnology/bio-based-products_fr ; https://ec.europa.eu/docsroom/documents/25042/attachments/1/translations/en/renditions/native.
8. Commission européenne, Direction générale de l'énergie, « De la plateforme sucrière aux biocarburants et produits biochimiques », rapport final, avr. 2015.
9. https://www.european-bioplastics.org/new-market-data-2019-bioplastics-industry-shows-dynamic-growth/
10. https://dalinyebo.com/biomass-to-pharmaceuticals/

Appel aux chercheurs et enseignants concernant la formation des fonctionnaires publics

Pétition lancée par Gilles Ramstein

Pourquoi cette pétition est importante

Nous, chercheur·euse·s, enseignant·e·s, ingénieur·e·s, technicien·ne·s et doctorant·e·s, en climat, biodiversité et ressources, nous réjouissons de l'annonce faite par le gouvernement de la volonté de former en ces disciplines l'ensemble de ses fonctionnaires.

Dans le contexte actuel, où chacun·e le constate les changements s'accélèrent, c'est en effet une heureuse initiative doublée d'une belle ambition.

Nous partageons donc pleinement cette démarche, tant il serait essentiel que les fonctionnaires de l'État puissent bénéficier de façon différenciée selon la position et les fonctions qu'ils et elles occupent d'une formation dans ces domaines.

Cette initiative est donc une excellente réponse aux défis qui se profilent et qui nécessiteront, à tous les étages, des politiques d'adaptation et d'atténuation appropriées.

Néanmoins, étant par définition à la base de cette formation, nous attirons votre attention sur le fait que, pour atteindre ce bel objectif, un certain nombre de « prérequis » sont nécessaires :

– La toute première chose est que, cheville ouvrière d'une telle formation, nous souhaitons être impliqué·e·s dans son élaboration et sa mise en place.

– La seconde chose importante à nos yeux est le caractère de formation continue que doit revêtir ce projet. Compte tenu des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui nous engagent déjà, il nous semble déterminant de comprendre que dans nos disciplines les connaissances à mobiliser vont aussi évoluer sur du moyen et long terme. Ainsi, choisir des stratégies d'adaptation et d'atténuation à mettre en place nécessite une formation continue s'étalant sur toute la vie professionnelle.

Par ailleurs, nous insistons sur le fait qu'il s'agit bien d'une « formation », et non d'une « information ». Cela signifie que les cadres de la fonction publique – les premier·ère·s visé·e·s – doivent lors de cette formation acquérir des capacités identifiées, et spécifiques à leurs responsabilités : un·e sous-préfet·ète n'a pas les mêmes actions à accomplir qu'un· directeur·trice d'hôpital, ou un·e recteur·trice d'académie… Une véritable formation comprend par ailleurs un moyen de valider/évaluer les acquisitions, celles-ci devant permettre des changements dans l'exercice des responsabilités.

Un dernier élément essentiel est évidemment que la mise en chantier, de manière crédible, d'une telle formation ambitieuse et différenciée pour tou·te·s les fonctionnaires nécessite, pour être à la hauteur des défis auxquels nous sommes déjà et allons de manière bien plus prégnante être confronté·e·s, un engagement politique et financier fort, ce qui signifie des moyens pérennes, tant en matière de structures organisationnelle et matérielle qu'en matière de postes permanents de formateurs.

C'est dans un tel cadre que nous souhaitons bien volontiers nous associer à cet effort collectif pour permettre à tou·te·s les fonctionnaires de bénéficier d'une formation de qualité initiale et continue. Une telle formation permettra de mieux appréhender, maîtriser et, *in fine*, de mieux orienter les décisions de l'État à tous les niveaux hiérarchiques.

Une telle ambition est motivante et, bien mise en place, sera certainement un atout face à la montée des périls.

Voici la liste des 30 premiers signataires :

Gilles Ramstein, directeur de recherche au CEA, IPSL/LSCE
Valérie Masson-Delmotte, directrice de recherche au CEA, IPSL/LSCE
Jean Jouzel, Académie des sciences.
Marie-Alice Foujols, ingénieure de recherche CNRS, IPSL.
Pierre Léna, Académie des sciences.
Jean-Louis Dufresne, directeur de recherche au CNRS, ISPL/LMD.
Juliette Mignot, directrice de recherche IRD, IPSL/LOCEAN.
Olivier Aballain, coresponsable du master 2 Climat & Médias, ESJ Lille.
Claire Waelbrock, directrice de recherche CNRS, IPSL/LOCEAN.
Gilles Bergametti, directeur de recherche CNRS, IPSL/LISA.
Olivier Aumont, directeur de recherche IRD, IPSL/LOCEAN.
Olga Otero, professeure à l'université de Poitiers, Palevoprim.
Jacques Verron, directeur de recherche émérite à Grenoble.
Nicolas Viovy, directeur de recherche CEA, IPSL/LSCE.
Doris Barboni, directrice de recherche IRD, CEREGE.
Francis Codron, professeur Sorbonne Université.
Élisabeth Michel, chercheuse au CEA, IPSL/LSCE.
Didier Swingedouw, directeur de recherche CNRS, EPOC.
Hélène Brogniez, professeure à l'UVSQ.
Yves Godderis, directeur de recherche au CNRS, GET.
Bruno Lansard, maître de conférences à l'UVSQ.
Xavier Capet, directeur de recherche au CNRS, IPSL/LOCEAN.
Irène Lefèvre, ingénieure de recherche IPSL/LSCE.
Bruno Bombled, ingénieur de recherche CEA, IPSL/LSCE.
Jean-Claude Dutay, directeur de recherche CEA, IPSL/LSCE.
Myriam Khodri, directeur de recherche IRD, IPSL/LOCEAN.
François Dulac, directeur de recherche CEA, IPSL/LSCE.
Fanny Lhardy, maître de conférences ENS de Lyon.
Eva Ferreira, doctorante IPSL/LSCE.
Corentin Gibert, post-doctorant, Atlanta, Géorgie, États-Unis.

Pour signer cette pétition : https://www.change.org/p/appel-aux-chercheurs-et-enseignants-concernant-la-formation-des-fonctionnaires-publics-0d8c1573-3bae-4d2b-a7d4-2f2374376ade

Exploiter ou protéger les grands fonds marins ? Le rôle de l'ONU

En juin 2023, des États membres de l'ONU ont adopté un accord pour la protection de la biodiversité en haute mer. Or, malgré des avancées, son entrée en vigueur risque de se faire attendre, permettant ainsi aux États et aux multinationales de continuer l'exploitation minière du sous-sol des océans. Que ce soit par les actions des associations et ONG environnementales françaises ou bien avec la prochaine Conférence des Nations unies sur les océans, il faut tout mettre en œuvre pour protéger l'écosystème des océans et éviter d'accélérer le réchauffement climatique.

PAR CHLOÉ MAUREL*

Après près vingt ans de négociations enflammées, 193 États membres de l'ONU ont adopté un accord juridiquement contraignant sur la haute mer et la biodiversité marine. La *haute mer* – l'expression désigne le volume de l'eau de mer situé à plus de 370 km des côtes ainsi que le sol et le sous-sol des océans – représente 64 % des océans du globe et 90 % de leur volume. Elle est essentielle sur le plan écologique, car elle génère 50 % de l'oxygène que nous respirons et absorbe 25 % du gaz carbonique provenant des activités humaines. Or, dans cette zone caractérisée par un régime juridique dit « de liberté », l'activité humaine augmente dangereusement d'année en année.

UN TRAITÉ PROGRESSISTE ET ÉCOLOGIQUE ?

Le traité de juin 2023 a été adopté par la Conférence intergouvernementale sur la biodiversité marine des zones situées au-delà des juridictions nationales. Le texte vise à assurer la gestion des océans au nom des générations actuelles et futures, conformément à la Convention sur le droit de la mer. Ses 75 articles ont pour objectif de protéger le milieu marin, de maintenir l'intégrité des écosystèmes océaniques et de conserver la valeur inhérente à la diversité biologique marine[1]. « *L'océan est l'élément vital de notre planète, et aujourd'hui vous avez insufflé une nouvelle vie et un nouvel espoir pour donner à l'océan une chance de se battre* », a déclaré avec satisfaction le secrétaire général de l'ONU, le Portugais António Guterres[2].

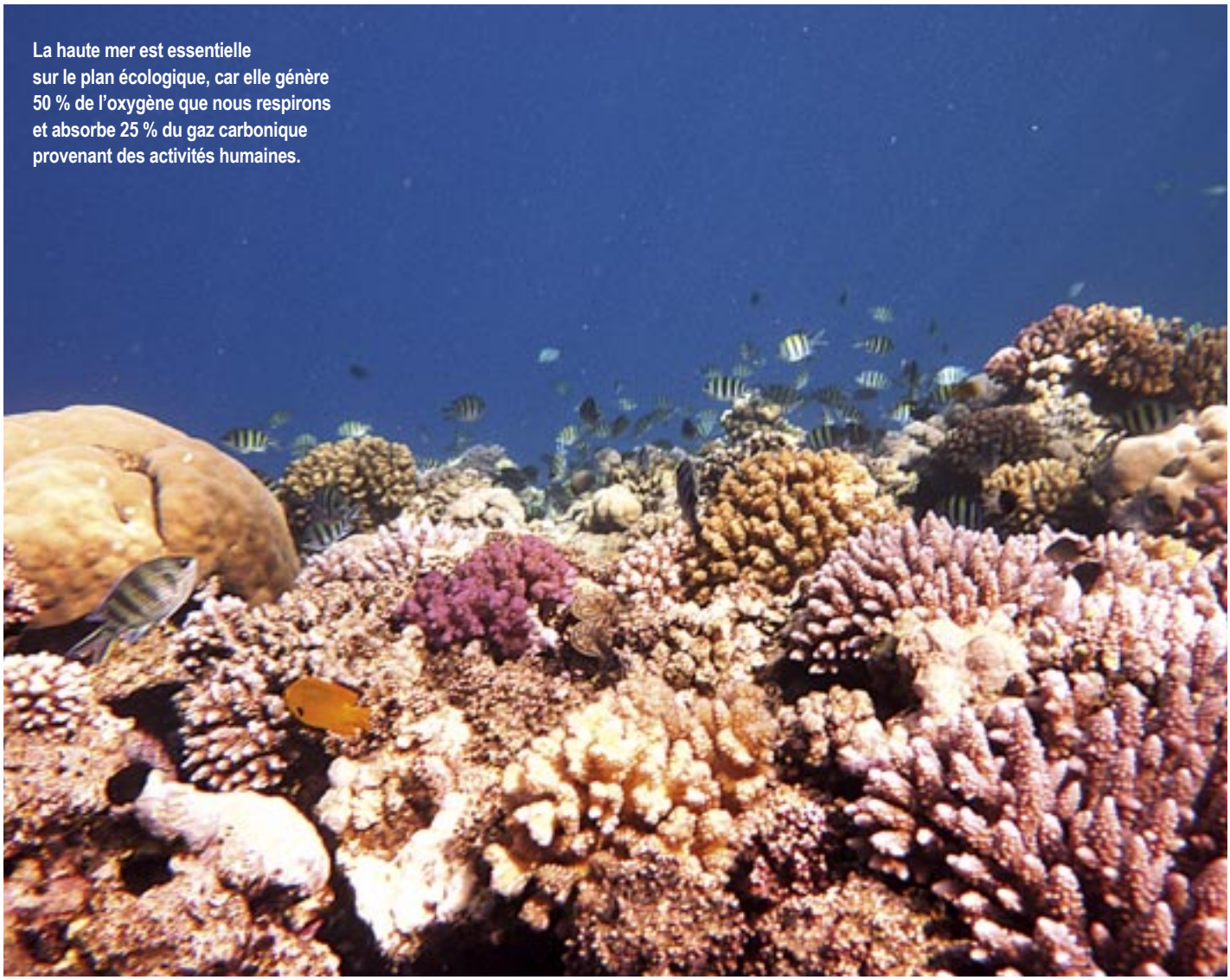
Le traité adopté en juin 2023 permettra de créer des aires marines protégées dans les eaux internationales.

Ce traité vise à assurer la gestion des océans au nom des générations actuelles et futures. Ses 75 articles ont pour objectif de protéger le milieu marin, de maintenir l'intégrité des écosystèmes océaniques et de conserver la valeur inhérente à la diversité biologique marine.

Il s'agit notamment de préserver l'océan des produits chimiques toxiques et des millions de tonnes de déchets plastiques qui y sont déversés chaque année, affectant dramatiquement la faune et la flore marines ; il faut savoir que plus de 17 millions de tonnes de plastique ont rejoint les océans en 2021 et que ce chiffre s'accroît chaque année, à tel point que, selon l'ONU, d'ici à 2050 il pourrait y avoir dans la mer plus de plastique que de poissons si rien n'est fait pour inverser la tendance[3]. Le traité vise aussi à réduire la surexploitation des poissons, à faire diminuer la température des océans, à protéger les petites îles. En plus, il se donne pour l'objectif la protection de 30 % de l'océan d'ici à 2030, un objectif fixé par l'ONU lors de la COP 15.

Le précédent traité, la Convention des Nations unies sur le droit de la mer, date de 1982. Ce texte avait posé pour la haute mer le principe de liberté : liberté de pêche, liberté de recherche scientifique, de vol et de survol. Certes, il existe différentes réglementations, comme celles fixant des quotas de pêche ou interdisant d'usage certains engins, mais il manquait un grand traité intergouvernemental posant le principe de protection de la biodiversité des écosystèmes des grands fonds marins.

D'autant plus que de nos jours, de grandes entreprises lorgnent avec insistance sur les fonds marins, pour y puiser des ressources précieuses, situées à 4 000 m de profondeur, susceptibles de rapporter des revenus colossaux, à savoir des nodules polymétalliques, riches en manganèse, cobalt, cuivre et nickel. Ces nodules sont présents surtout dans la partie centrale et profonde de l'océan Pacifique. Comme l'explique Michael Lodge, secrétaire général de l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM), outre ces nodules, ce sont aussi les sulfures hydrométalliques qui sont convoités, car ils sont « *riches en cuivre, en fer, en zinc, en argent et en or. Les dépôts se trouvent le long des lignes de séparation des plaques tectoniques, des dorsales au niveau de l'arc interne et des*



La haute mer est essentielle sur le plan écologique, car elle génère 50 % de l'oxygène que nous respirons et absorbe 25 % du gaz carbonique provenant des activités humaines.

arcs volcaniques en activité, généralement à une profondeur d'environ 2 000 m». Les fonds marins recèlent aussi des encroûtements cobaltifères, qui « *s'accumulent le long des monts sous-marins et sur leur sommet à des profondeurs comprises entre 400 et 7 000 m. Ils sont formés par la précipitation des minéraux provenant de l'eau de mer et contiennent du fer, du manganèse, du nickel, du cobalt, du cuivre ainsi que divers métaux rares, y compris des éléments de terre rare*». Toutes ces substances sont très convoitées car elles sont utiles pour la fabrication des ordinateurs, téléphones portables et, plus largement, circuits électroniques intégrés[4].

Le traité adopté en juin 2023 permettra de créer des aires marines protégées dans les eaux internationales. Une telle mesure est réellement salutaire compte tenu du fait qu'aujourd'hui seulement environ 1 % de la haute mer fait l'objet de mesures de conservation[5].

Comme l'observe Greenpeace, ce nouveau traité pourrait être « *un outil juridique puissant qui rend possible la protection d'au moins 30 % des océans d'ici à 2030* […]. *Il pourrait permettre la création de vastes aires marines protégées en haute mer, sanctuaires océaniques soustraits aux activités humaines destructrices*». De plus, en 2022, l'UNESCO, dont l'un des domaines principaux de compétence est la science (le « S » du sigle signifie *sciences*), a lancé un programme pour cartographier au moins 80 % des fonds marins.

ALORS QUE L'HEURE PRESSE…

L'entrée en vigueur du traité risque de se faire attendre longtemps ; en effet, comme l'observe Concepcion Alvarez sur le site de l'ONG Novethic, « *le texte va être passé au crible par les services juridiques et traduit pour être disponible dans les six langues officielles de l'ONU, avant d'être officiellement adopté lors d'une autre session* ». Il doit être ratifié par au moins soixante gouvernements avant de pouvoir entrer en vigueur et devenir juridiquement contraignant. Et l'avocat Arnaud Gossement ajoute : « *Pour l'heure, ni le contenu, ni le statut juridique de ce texte, ni la liste des États signataires, ni le délai de ratification ne sont connus.* » Le précédent traité, celui de 1982, avait mis douze ans avant d'entrer en vigueur. En effet, les ratifications sont longues à venir, et un nombre minimum de ratifications par des États est nécessaire pour que le texte puisse entrer en vigueur.

Broyage de milliers d'espèces, nuages de boues, pollutions sonores et lumineuses : la vie sous-marine est en danger.

Signe encourageant, l'Union européenne a promis 40 millions d'euros pour en faciliter la ratification et la mise en œuvre ini- ▶

tiale. Et, lors de la réunion mondiale Notre Océan, qui s'est déroulée début mars 2023 au Panamá, les participants ont promis de verser près de 20 milliards de dollars pour la protection des océans.

UN DANGER IMMINENT, L'EXPLOITATION MINIÈRE DES OCÉANS

Greenpeace explique pourquoi l'exploitation minière des fonds marins est dangereuse : « *Des milliers d'espèces fantastiques sont écrasées et broyées au fond de l'océan ; la boue dégagée par cette activité au fond de l'eau crée des nuages qui asphyxient la biodiversité ; la pollution sonore et lumineuse perturbe les espèces habituées au calme des abysses, des métaux lourds se diffusent et s'accumulent dans la chaîne alimentaire, et ce n'est pas tout : l'exploitation minière des eaux profondes menace le climat.*[6] »

La France va organiser, avec le Costa Rica, la prochaine Conférence des Nations unies sur les océans, elle se tiendra en juin 2025 à Nice. Il est important que ce futur rendez-vous international soit l'occasion de promouvoir la ratification du traité de juin 2023 et même, si possible, d'obtenir son entrée en vigueur, voire de parvenir à faire renoncer totalement les États et les multinationales à l'exploitation minière du sous-sol des océans. L'enjeu est de taille, car les intérêts économiques privés sont à la manœuvre, poussant en faveur d'une exploitation minière des océans. Comme Greenpeace l'expliquait déjà en octobre 2022, « *c'est l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM), instance qui dépend de l'ONU, qui est chargée d'encadrer l'exploitation minière en eaux profondes. Un "code minier" est actuellement en négociation entre les États, sous pression des industriels qui voudraient le voir adopté dans l'urgence dès juillet 2023. Pourquoi cette date ? Car à ce moment, l'entreprise minière canadienne The Metals Company (TMC) pourra faire valoir une faille législative qui lui permettrait de commencer l'exploitation commerciale des ressources des abysses même en l'absence de code minier. L'AIFM occupe donc une place centrale. Or le problème est qu'à ce jour nous ne pouvons pas nous fier à cette autorité : elle présente de gros problèmes d'opacité, un système de décision obscur et de vote problématique, et des signes de collusion avec les industries minières. Pour preuve ? L'entreprise The Metals Company a commencé cet automne l'exploration des fonds marins, avec la complicité de l'AIFM, sans même qu'un vote ne soit proposé aux États membres* »[7]. Les militants écologistes et environnementaux sont consternés de voir ce début d'exploitation brutale et prédatrice des fonds marins.

En juin 2025, à Nice, la prochaine Conférence des Nations unies sur les océans peut permettre adopter formellement le moratoire sur l'exploitation minière des grands fonds marins.

En octobre 2022, le bulldozer de The Metals Company a donc parcouru 147 m au fond de l'océan Pacifique pour collecter 14 t de nodules polymétalliques. L'AIFM « *a délivré à cette entreprise un permis "test" pour commencer à miner, en envoyant son immense bateau, le* Hidden Gem, *au cœur de l'océan* […] *entre Hawaï et le Mexique. En effet, si l'exploitation commerciale n'est pas autorisée, un industriel peut, au nom de l'exploration, faire des tests et collecter des nodules… en détruisant les milieux. Le constat est sans appel : l'AIFM n'empêchera pas l'exploitation minière en haute mer de se produire. Cette responsabilité incombe aux gouvernements qui doivent s'opposer fermement à cette industrie* », conclut Greenpeace[8].

LA POSITION AMBIGUË DE L'AIFM

En juillet 2023 à Kingston (Jamaïque), une réunion organisée par l'AIFM rassemblait ses États membres au sujet de l'exploitation minière des grands fonds océaniques. Les négociations qui s'y sont tenues ont visé à « *combler un vide juridique qui permettrait en théorie d'exploiter sans aucune règle, soit la pire des situations* »[9].

Les fonds marins « *abritent une biodiversité incroyable, 5 000 espèces y ont été découvertes récemment. À chaque fois qu'on y envoie un sous-marin, on trouve des centaines d'espèces. Or l'exploitation reviendrait à descendre à 4 000, voire 6 000 mètres de profondeur avec des bulldozers semblables à des moissonneuses-batteuses pour ramasser des nodules, sortes de grosses patates polymétalliques posées sur les fonds marins. Il ne s'agit pas de forer mais de collecter à échelle industrielle, avec des machines : elles aspirent les métaux, qui remontent* via *des tuyaux jusqu'à des bateaux en surface* »[10].

Dans une tribune collective publiée le 10 juillet 2023 par des responsables de grandes associations et ONG environnementales françaises[11], comme le comité français de l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature), Greenpeace France et Les Amis de la Terre France, les signataires lancent l'alarme, écrivant : « *Le 10 juillet 2023 pourrait rester dans l'histoire comme une date fatidique pour l'océan. En effet, à partir d'aujourd'hui, la porte est ouverte à l'exploitation minière des grands fonds, sans normes ni réglementation (code minier), et ce alors*

Les fonds marins abritent une biodiversité extrêmement riche. Or leur exploitation reviendrait à descendre à des profondeurs de 4 000, voire 6 000 m avec des bulldozers semblables à des moissonneuses-batteuses.

© Caisey Xavier (2012). Forêt sous-marine à Molène.

que les connaissances scientifiques relatives aux grands fonds et aux impacts de l'exploitation minière sont loin d'être suffisantes pour permettre une prise de décision fondée sur des données probantes. Cette nouvelle menace se télescope de manière cynique avec la récente adoption aux Nations unies d'un traité pour la protection de la haute mer, censé protéger ces espaces si fragiles. »

En effet, comme l'expliquent les signataires, désormais, « *une entreprise peut demander à l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM) une licence provisoire d'exploitation commerciale des grands fonds. Cette aberration, rendue possible par une faille dans les procédures de l'AIFM, intervient alors que les négociations sur le cadre réglementaire de ces activités n'ont pas encore abouti* »[12]. Cela au bénéfice des grandes multinationales de l'extraction, comme The Metal Company.

Les signataires de la lettre ouverte appellent l'UE à agir en sorte que le règlement européen sur les matières premières critiques « *ne soit pas une porte d'entrée aux matériaux exploités en eaux profondes* » et que, au contraire, ce texte puisse « *permettre de bloquer toute possibilité d'importer ces minerais dans l'Union européenne* »[13].

UN SURSIS ET UNE PERSPECTIVE CRUCIALE : NICE 2025

Finalement, la réunion de Kingston s'est achevée par un sursis pour les tenants de la protection des océans, mais un sursis fragile : « *Si aucun feu vert n'a été accordé au démarrage de l'activité, le projet de code minier n'est pas enterré.* […] *Ni moratoire ni code minier : l'avenir de l'exploitation des fonds marins reste en suspens* »[14]. Le Chili, le Costa Rica, l'Allemagne ou encore la Nouvelle-Zélande et, plus récemment, le Canada, la Suède, la Suisse, l'Irlande, le Brésil, la Finlande et le Portugal ont milité en faveur du moratoire. Le Vanuatu et la France, plus engagés, ont défendu l'idée d'une interdiction totale[15]. En revanche, les États-Unis, le Mexique et la Norvège, ainsi que la petite île de Nauru, poussent coûte que coûte en faveur de l'exploitation minière.

Ainsi, deux logiques s'affrontent : la logique commerciale et prédatrice, celle des multinationales minières, face à celle, humaniste, qui considère que les fonds marins et le sous-sol des océans constituent un patrimoine commun à toute l'humanité, et que donc, ils doivent être gérés par l'ONU et ses agences, dans l'esprit du multilatéralisme et du bien commun.

Face à une faille dans les procédures de l'AIFM, de grandes associations et ONG environnementales françaises lancent l'alarme devant la possibilité d'exploitation commerciale des grands fonds.

En fin de compte, l'ONU apparaît pour l'instant trop faible (manipulée par les grands intérêts financiers) pour imposer cette logique humaniste, face aux appétits aiguisés des grandes entreprises et de leurs actionnaires.

Mais rien n'est encore perdu. Pour la prochaine Conférence des Nations unies sur les océans (Nice, 2025), l'enjeu est crucial : il s'agit de faire adopter formellement le moratoire sur l'exploitation minière des grands fonds marins, afin de protéger l'écosystème des océans et d'éviter d'accélérer le réchauffement climatique. La France est en pointe dans cet engagement, le président Macron (même si sa position a varié et reste ambiguë) ayant déclaré vouloir faire de la protection de l'Océan une priorité de son mandat. Mais sur la scène internationale la France apparaît pour l'heure trop isolée sur ce sujet. ■

***CHLOÉ MAUREL est historienne, spécialiste de l'ONU.**

1. ONU Info, « Au-delà des frontières : pourquoi le nouveau traité sur la haute mer est essentiel pour le monde entier » (https://www.un.org).
2. *Ibid.*
3. *Ibid.*
4. Michael Lodge, « L'autorité internationale des fonds marins et l'exploitation minière des grands fonds marins », Nations unies.
5. Concepcion Alvarez, « Accord historique pour protéger la haute mer : pourquoi c'était inespéré après 15 ans de négociations », novethic.fr, 6 mars 2023.
6. Greenpeace France, « Exploitation minière des fonds marins : stop ou encore ? », 26 oct. 2022.
7. *Ibid.*
8. *Ibid.*
9. Margaux Lacroux, « Exploitation minière des abysses : « Sacrifier les grands fonds pour préserver le climat est une mauvaise équation », *in Libération*, 10 juill. 2023.
10. *Ibid.*
11. Tribune « Exploitation minière des fonds marins : la menace se concrétise », *les Échos*, 10 juill. 2023.
12. *Ibid.*
13. Mathieu Viviani, *les Échos*, 8 nov. 2022.
14. Fanny Bénard, « Exploitation minière : un sursis pour les grands fonds marins », 31 juill. 2023 (https://www.actu-environnement.com/ae/news/exploitation-miniere-sursis-fonds-marins-42320.php4).
15. *Ibid.*

EAU

La sécheresse dans le Roussillon

La sécheresse historique qu'a connue en 2023 le département des Pyrénées-Orientales questionne les modèles qui ont prévalu depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. Je me pose d'emblée une question : notre génération laissera-t-elle uniquement la sécheresse à ses enfants ?

PAR NICOLAS GARCIA*

UN DÉPARTEMENT AU DÉPART BIEN DOTÉ EN EAU…

Contrairement aux apparences, le département des Pyrénées-Orientales est plutôt bien doté en eau. La nature l'a pourvu de trois fleuves, dont on peut dire qu'ils naissent et meurent sur son territoire. Il dispose aussi de nappes phréatiques du pliocène (profondes) et du quaternaire (superficielles), beaucoup de départements nous envient cette situation. Même au niveau de la pluviométrie, nous n'étions pas les plus mal lotis jusqu'à présent. Au demeurant, d'un point de vue géomorphologique, la plaine du Roussillon constitue un seul et même impluvium, une même « bassine » réceptacle de tous les bassins-versants des montagnes qui l'entourent.

Contrairement aux apparences, le département des Pyrénées-Orientales est plutôt bien doté en eau. La nature l'a pourvu de trois fleuves.

Les anciens ont laissé à ce département des canaux devenus centenaires, voire millénaires, qui sillonnent la plaine du Roussillon. Les élus de la seconde moitié du siècle dernier ont fait construire deux barrages et la retenue de stockage de la Raho, d'une capacité totale de près de 70 millions de mètres cubes. Je pourrais ajouter les 15 millions de mètres cubes du barrage des Bouillouses, réalisé au début du XXe siècle pour produire l'électricité alimentant l'emblématique Train Jaune si cher aux Catalans.

ET POURTANT UNE SITUATION DE SÉCHERESSE

Or la sécheresse est là. Cette situation est historiquement inédite, de mémoire de Catalan comme de mémoire statistique. Retour de flamme de l'obscurantisme : certains, qui ne cherchent pas de solution mais se contentent de « casser » celles des autres, pensent que, prières et processions aidant, le salut viendra de l'immersion de la statue d'un saint dans la rivière, comme cela se pratiquait il y a des siècles. Le problème est qu'un saint trempé dans l'eau, fût-il Galdric (Gaudérique), n'a jamais fait pleuvoir.

La situation des barrages des Bouillouses et de Vinça, sur la Têt, n'est guère rassurante : ils ne sont même pas à un tiers de leur capacité. En effet, même si on n'avait lâché dans la Têt que les 600 L/s exigés par le monde agricole et l'eau nécessaire aux canaux d'arrosage pour l'irrigation agricole, notamment, il n'y aurait plus eu d'eau dans le barrage à la fin mai. Dès lors, on n'aurait pu laisser sortir que ce qui rentre, c'est-à-dire pas grand-chose.

La sécheresse est là, historiquement inédite, de mémoire de Catalan comme de mémoire statistique.

Dans ces conditions, ne vaut-il pas mieux, même si c'est très dur, conserver un peu d'eau dans le barrage de Vinça pour pouvoir continuer d'arroser, même peu, et sauver l'essentiel en juin ou juillet ?

L'Agly, autre fleuve du département doté lui aussi d'un barrage en amont, est à sec et du coup la réserve karstique sous les Corbières, que d'aucuns décrivaient comme une mer d'eau souterraine, est en souffrance elle aussi.

Le Tech, troisième fleuve catalan, dépourvu de barrage, est lui en grande difficulté. Seule la Têt résiste un peu grâce au barrage de Vinça. Cela dit, il faut savoir que, selon une décision du tribunal administratif de novembre 2022, les prélèvements ne sont pas autorisés si le débit est inférieur à 1 500 L/s, mais que le préfet a fait appel de cette décision en arguant d'un arrêté de septembre 2017 qui fixe cette limite à 1 000 L/s (désormais 600 L/s, comme l'ont demandé les irrigants).

Le niveau de crise est atteint au plan de la sécheresse des sols, de la pluviométrie, des cours d'eau, des nappes plio-quaternaires ou des barrages et de la retenue de la Raho. Restrictions et frustrations touchent la population, les mairies et, en partie, le monde de l'agriculture et du tourisme.

GUERRE DE L'EAU OU ANTICIPATION ET COOPÉRATION ?

La période questionne : aurons-nous assez d'eau pour passer l'été ? Quelles leçons allons-nous en tirer ? Pour cet été, il y a urgence, la seule réponse semble se résumer en un mot : *économies !*

Le souci est que tout le monde n'est pas prêt à en faire et que certains profitent de forages sauvages dans la nappe pliocène pour tirer abondamment et dangereusement une eau précieuse pour les générations futures, et pour garder un équilibre entre eau douce et eau salée en bordure de mer. C'est le cas surtout dans les collectivités, et aussi dans le monde de l'industrie et de l'agriculture. Mais on voit dans tout le département – des maires dans le Vallespir sous la houlette du sous-préfet, aux agriculteurs réunis à Saint-Estève, en passant par des réunions sectorielles ou de villages – qu'il y a beaucoup de responsabilité, de compréhension, de volonté de partager

l'eau… bref, de l'intelligence. C'est ce qui me fait dire que la guerre de l'eau n'aura pas lieu ! En outre, la prise de conscience collective gagne toute la société catalane. Elle a entraîné l'acceptation de sacrifices de la part des populations afin de sauver cet été – et des étés à venir – ce qui peut l'être, pour les humains, les animaux, les productions agricoles nourricières et l'économie touristique.

© Lucas Destrem

La situation des barrages des Bouillouses et de Vinça, alimentés par le fleuve côtier de la Têt, n'était même pas à un tiers de leur capacité fin mai 2023.

DES PROPOSITIONS DE MOYEN ET LONG TERME

Au-delà des économies d'eau, incontournables, des solutions techniques et structurelles existent. L'urgence traitée, il faut travailler aux solutions de moyen et long terme en mettant en œuvre dès que possible un mix d'éléments que l'on connaît :

– un adducteur entre le barrage de Vinça et la retenue de la Raho, située en plaine. Portée par le Département, sa création permettrait de profiter de la moindre goutte de pluie lorsque le fleuve est suffisamment alimenté et que le barrage doit être vidé en tout ou partie pour qu'il joue son rôle d'écrêteur de crues ;

– la recharge des nappes souterraines (automne et hiver) par les canaux d'irrigation en des points précis des cours d'eau qui jalonnent notre département et qui le plus souvent ressemblent à des oueds (Boulès, Canterrane, Réart…) ;

– la désimperméabilisation des sols dans les zones urbaines ;

– la réutilisation des eaux usées, surtout celles qui sont rejetées en mer (les autres alimentent déjà les rivières) ;

– l'amélioration, encore, du rendement des réseaux d'eau des villes et villages ;

– la recherche de ressources alternatives de faibles ou fortes productions (sources, divers systèmes karstiques…) ;

– les retenues de stockage lorsqu'il n'y a pas d'autre solution ;

– la création d'un syndicat mixte départemental de production d'eau potable. Cette structure publique, indispensable selon moi, gérée par les collectivités productrices d'eau, serait un outil pour gérer collectivement la ressource en eau, mailler le territoire, vendre l'eau aux distributeurs quels qu'ils soient, en contrôlant, par le biais des ratios, si réellement ces derniers investissent dans le rendement des réseaux de distribution. Le syndicat travaillerait aussi à la recherche de ressources alternatives, garantirait l'eau à chacun et disposerait de plus de moyens financiers et de plus d'influence pour aller à la pêche aux subventions ;

– enfin, une action forte sur la terre et le climat. En reconstituant la réserve utile des sols, en nourrissant la terre de carbone et de matières organiques, en couvrant le sol de végétaux et en plantant de nombreux arbres, sur au minimum 10 000 ha (haies, feuillus, etc.), en quelques décennies nous pouvons « cultiver la pluie », en d'autres mots faire pleuvoir.

Ne vaut-il pas mieux, même si c'est très dur, conserver un peu d'eau dans le barrage de Vinça pour pouvoir continuer d'arroser, même peu, et sauver l'essentiel en juin ou juillet ?

La prise de conscience collective gagne toute la société catalane. Elle entraîne l'acceptation de sacrifices de la part des populations afin de sauver ce qui peut l'être, pour les humains, les animaux, les productions agricoles nourricières et l'économie touristique.

Tout cela coûtera cher, c'est évident ; il faut donc qu'État, agence de l'eau et toutes autres collectivités suivent pour ce qui est des subventions, c'est la condition *sine qua non* pour gagner cette bataille.

Le département des Pyrénées-Orientales s'investit beaucoup et de plus en plus pour l'eau. Il soutient les collectivités territoriales, jusqu'à 70 % pour les plus petites qui ne sont plus aidées par l'agence de l'eau dans leurs projets, même quand ces derniers visent le rendement des réseaux. Il maintient un service d'assistance technique aux exploitants de stations d'épuration (SATESE) et un service d'assistance technique à l'eau potable (SATEP), deux structures de soutien logistique aux collectivités locales en matière d'eau potable et d'assainissement. Il gère les barrages et la retenue de la Raho.

Tout cela, il le fait, mais c'est insuffisant pour faire face à la situation de sécheresse historique que nous sommes en train de vivre.

LA LUTTE À PARTIR D'UN TERRITOIRE

Je voudrais revenir à, et terminer par, un point crucial : la lutte contre le réchauffement climatique et ses conséquences à partir d'un territoire.

Car notre pluviométrie est passée d'environ 600 mL/m²/an à un peu moins de 180 mL/m²/an. En la matière, nous battons donc des records dans les Pyrénées-Orientales ; et cette baisse est ▶

EAU

aussi spectaculaire que la croissance dans le département des zones urbanisées, et donc imperméabilisées. Partant, nous sommes aujourd'hui confrontés à des records de sécheresse des sols, à de bas niveau des nappes phréatiques et à des étiages extrêmement faibles des cours d'eau. Toutes les dispositifs énumérées plus haut, pour indispensables qu'ils soient, ont juste un caractère technique. Mais une question s'impose : nous avons devant nous une vingtaine d'années pour transformer complètement le paysage, que peut-on faire ?

En ce sens, des scientifiques et des spécialistes portent de plus en plus l'idée que l'on peut « cultiver la pluie » à moyen terme. En d'autres mots, on peut « inverser » le réchauffement climatique à partir d'un territoire comme le département.

En effet, la réserve utile (RU) en eau des sols se construit par la combinaison d'un taux de matières organiques élevé, une densité racinaire forte et une activité soutenue de la microfaune du sol. Cette réserve est déterminante, puisque c'est elle qui abreuve les plantes tout au long de leur croissance. Pour garantir aux plantes une résistance aux épisodes de sécheresse de plus en plus graves chaque

On peut « cultiver la pluie » à moyen terme. En d'autres mots, on peut « inverser » le réchauffement climatique à partir d'un territoire comme le département.

été dans le département, le maintien dans le sol d'une réserve utile d'eau la plus élevée possible est indispensable.

La vitesse de remplissage de la RU au moment des pluies est le deuxième facteur essentiel à considérer. Elle peut varier de plusieurs dizaines de litres par heure à seulement quelques décilitres toutes les 24 heures. Ce facteur est surtout sensible sur les sols à dominante limoneuse, et s'amplifie avec le travail de la terre. La battance – formation de croûtes entraînant une imperméabilité des sols – contribue également à l'érosion par ruissellement, et dans les cas extrêmes aux épisodes d'inondations, phénomène très présent dans notre département.

Une couverture végétale est nécessaire pour une activité biologique « couvre-sol ». Par exemple, les champignons ou les vers de terre génèrent de la porosité, ces derniers creusent des galeries de transport de la matière organique de la surface vers la profondeur.

Au fil des ans a disparu une grande partie des haies champêtres initialement présentes dans le paysage. Or les haies possèdent de nombreuses vertus, dont l'effet brise-vent qui limite l'évaporation de l'eau de surface et diminue les pertes de la vapeur d'eau produite par l'évapotranspiration des plantes. Cette eau, lorsqu'elle se transforme en rosée, a été mesurée jusqu'à l'équivalent de 3 mm de pluie quotidienne.

Les arbres, par leur activité photosynthétique élevée et leur

Pour garantir aux plantes une résistance aux épisodes de sécheresse de plus en plus graves chaque été dans le département, le maintien dans le sol d'une réserve utile d'eau la plus élevée possible est indispensable.

capacité à puiser de l'eau en profondeur, grâce à leur puissant système racinaire, rendent une grande quantité d'eau à la surface du sol lorsque les sols disposent d'une réserve d'eau utile et que le maillage agroforestier est dense. L'évapotranspiration peut être de nature à activer le petit cycle de l'eau et à attirer les pluies. Ce phénomène connu a déjà été mis à profit dans plusieurs parties du monde. Dans notre département, pour obtenir des performances significatives, la surface à convertir et à régénérer semble se situer autour des 10 000 ha, soit l'équivalent d'une petite communauté de communes.

L'arbre agroforestier est également en mesure de répondre à d'autres enjeux : le stockage de carbone, la production de bois, l'abaissement de la température au sol, l'hébergement d'une faune auxiliaire aux cultures, un fourrage d'appoint en cas de sécheresse estivale…

Par ailleurs, l'image d'une agriculture fondée sur des considérations fortes envers l'environnement et la création d'un territoire sain dans lequel il est possible de vivre au plus près de la nature constitueront sans nul doute un nouveau pôle d'attractivité du territoire qu'il sera aisé de valoriser sur le plan touristique.

Naturellement, il faut une implication forte des financeurs habituels : la Région, l'État, l'Europe et le Département. Ce dernier pourrait être le promoteur et le porteur de ce projet, qui aurait aussi une dimension citoyenne, auprès des ministères concernés et de tous les autres financeurs.

Au début de ce texte, je me demandais ce que l'on pouvait laisser aux générations futures. La réponse est peut-être : des millions d'arbres et un peu plus de pluie stockée dans le sol. ■

Les haies possèdent de nombreuses vertus, dont l'effet brise-vent qui limite l'évaporation de l'eau de surface et diminue les pertes de l'eau produite par l'évapotranspiration des plantes.

***NICOLAS GARCIA** est maire communiste d'Elne et vice-président du conseil départemental des Pyrénées-Orientales, en charge de l'eau.

Marcel Boiteux, un grand défenseur des services publics

Marcel Boiteux s'est éteint à l'âge de cent un ans. Son nom restera sans doute attaché à la réflexion théorique sur la gestion des services publics, notamment de leurs coûts et de leurs tarifs, et à la conduite concrète du grand service public qu'était EDF (1967-1987), d'abord en tant que responsable du service Études économiques générales, puis directeur général et enfin président du grand monopole public.

Normalien, disciple de Maurice Allais, Marcel Boiteux, qui a considérablement fait avancer la réflexion sur la gestion des monopoles publics, n'en était pas moins un économiste d'essence libérale. Selon son approche, le monopole public, en l'absence de concurrence, se devait de vendre au coût de revient, non pas par souci d'équité sociale mais pour donner au consommateur d'électricité l'information nécessaire pour orienter ses choix de consommation. Son article fondateur, « De la gestion des monopoles publics astreints à l'équilibre budgétaire » (1956), vise en fait à montrer que ce prix de revient doit être le prix de revient marginal, c'est-à-dire le coût des productions supplémentaires à mettre en route pour satisfaire une demande additionnelle.

Bien que cette approche restât dans une veine libérale, elle apportait une rationalisation, voire une moralisation de l'appréciation des coûts du service public en en éliminant les composantes parasitaires, et notamment les profits. Par ailleurs, Marcel Boiteux fut aussi un patron de combat, cherchant à maîtriser les salaires dans une période où la charge financière liée au nucléaire excédait la masse salariale – et les conflits sociaux furent nombreux durant son règne.

Mais l'apport sans doute le plus décisif de la réflexion de Marcel Boiteux réside dans sa conception même du coût de revient marginal. Dans la théorie néolibérale, le coût marginal est assimilé au coût proportionnel à court terme, qui ne couvre donc pas les coûts fixes. Marcel Boiteux récusait cette vision étroite en définissant un coût marginal « en développement », ou à long terme, qui intégrait dans la tarification les coûts liés à la nécessité de développer le parc de production pour répondre à la demande à long terme.

Cette vision, qui constituait donc une planification s'appuyant sur une évaluation des besoins des usagers, des moyens de productions à construire et des coûts prévisionnels, fait aujourd'hui cruellement défaut, tant en France que dans le reste de l'Europe.

Après avoir quitté ses fonctions, Marcel Boiteux ne se privait pas de critiquer les politiques européennes en matière d'électricité, en rappelant aux « *intégristes du libéralisme* » que « *la concurrence et le jeu des marchés sont irremplaçables, mais pas partout, ni toujours, ni n'importe comment* ».

ALAIN TOURNEBISE

Les sciences et les techniques au féminin

Mileva Marić (1875-1948)

Née le 19 décembre 1875 à Titel, en Autriche-Hongrie, Mileva brillera très tôt dans les mathématiques et la physique. Elle parviendra ainsi à intégrer en 1892 l'école d'Agram (aujourd'hui Zagreb) qui dispense alors des cours de physique et de mathématiques réservés aux garçons.
Arrivée à Zurich en 1896 après un passage par des études de médecine, elle intègre l'École polytechnique fédérale de Zurich (une des premières écoles germanophones à accorder des diplômes aux femmes). C'est là qu'elle rencontre Albert Einstein, qui deviendra son mari en 1903. Enceinte en 1901, elle quitte l'école sans diplôme.

Si les débats sont encore en cours quant à son degré d'implication dans les travaux sur la théorie de la relativité, sa participation aux recherches d'Einstein est indéniable, comme l'attestent certains propos de ce dernier dans la correspondance du couple : « *Je serai heureux et fier quand nous aurons tous les deux ensemble mené notre travail sur le mouvement relatif à une conclusion victorieuse !* »

Il n'était pas rare que Mileva, fort rigoureuse dans sa démarche, corrige les erreurs mathématiques de son mari. On découvrira même que les premières pages des cours du physicien à l'université de Zurich, en 1909, sont écrites de sa main. Elle n'est cependant même pas citée lorsque Einstein reçoit le prix Nobel en 1921. Bien que leur divorce fût prononcé en 1919, l'argent du Nobel lui reviendra bel et bien afin de subvenir à l'éducation de leurs enfants, comme le stipulait le contrat signé par le couple en cas de séparation. Elle continue par la suite à donner des cours particuliers de physique et de mathématique et terminera sa vie dans la plus grande des discrétions. En 2022, la physicienne Gabriella Greison parvient à obtenir, à titre posthume, pour Mileva le diplôme de l'École polytechnique de Zurich.

CLAUDE FRASSON

Pour consulter tous les articles de ***Progressistes*** en ligne ou pour télécharger la revue gratuitement

progressistes @Progressistes21 Revue Progressistes Progressistes

Retrouvez-nous aussi sur revue-progressistes.org

OFFREZ UN ABONNEMENT !

Progressistes
Science Travail & Environnement

revue-progressistes.org

Tél. : 01 40 40 13 41

revue.progressistes@gmail.com