

> lorsqu'on donne un supplément d'ocytocine à une mère hamster, elle devient plus susceptible d'attaquer et de mordre un mâle menaçant. L'ocytocine joue aussi un rôle dans certaines formes comparables d'agression masculine. La quantité d'ocytocine disponible augmente lorsqu'un rat mâle se lie avec sa compagne. Il est plus attentionné envers elle, mais aussi plus susceptible d'attaquer un étranger qui la menace. Ce lien entre socialité, ocytocine et agressivité s'observe largement chez les mammifères.

Comme notre espèce a été façonnée par l'autodomestication, notre sociabilité accrue a aussi engendré une nouvelle forme d'agressivité. La plus grande disponibilité de la sérotonine pendant la croissance du cerveau humain a augmenté son impact sur notre comportement. Les membres d'un groupe avaient désormais la capacité de se connecter les uns aux autres si fortement qu'ils se sentaient comme les membres d'une même famille. Une nouvelle façon de s'inquiéter du sort d'autrui a procédé de la volonté farouche de défendre violemment les membres du groupe sans lien de parenté avec nous. Les humains sont devenus plus violents lorsque les membres de leurs groupes, qu'ils tendaient désormais à aimer davantage, étaient menacés.

DES CONTACTS POUR APAISER LES CONFLITS ENTRE GROUPES

Malgré les paradoxes évolutifs de la nature humaine, la notion d'appartenance à un groupe est malléable. *H. sapiens* a déjà démontré sa capacité à étendre le concept d'appartenance à un ensemble incluant des milliers ou des millions de personnes. Il peut être étendu davantage. La meilleure façon d'apaiser les conflits entre groupes est de diminuer le sentiment de menace perçu par le biais de l'interaction sociale. Si le fait de se sentir menacé nous donne envie de protéger les membres de notre groupe, un contact non menaçant avec des membres d'un autre groupe nous permet de changer la définition du nôtre afin de les y inclure.

Citons, à titre d'exemple, le cas des enfants blancs qui, dans les États-Unis des années 1960, ont côtoyé des enfants noirs à l'école. Ce sont justement eux qui, devenus adultes, sont les plus susceptibles d'accepter l'idée de mariages entre Blancs et Noirs, d'avoir des amis et des voisins noirs. Bref, les Noirs font partie de leur groupe, qui cesse d'être défini par la couleur de la peau.

Ce phénomène joue un grand rôle dans le domaine de l'éducation. À l'université de Californie à Los Angeles, des étudiants de couleurs de peau différentes partageant une chambre ont déclaré lors d'une enquête être devenus plus à l'aise lors de leurs interactions



Notre sociabilité accrue a aussi engendré une nouvelle forme d'agressivité

avec des gens d'une autre ethnie que la leur et approuver les relations amoureuses entre personnes de couleurs de peau différentes. Une étude a montré qu'imaginer un contact positif avec l'un des groupes de personnes les plus déshumanisés, les sans-abri, aide à éprouver de l'empathie envers eux. Les amitiés entre personnes appartenant à différents groupes peuvent se généraliser et s'étendre aux autres membres du groupe.

La plupart des politiques sont promulguées en partant du principe qu'un changement d'attitude entraîne un changement de comportement, mais lors de conflits entre groupes, c'est le changement de comportement dans les contacts humains qui fait évoluer les esprits. L'hypothèse de l'autodomestication explique pourquoi notre espèce a évolué vers une plus grande sociabilité. Le contact entre des personnes d'idéologies, de cultures ou de couleurs de peau différentes rappelle de façon universellement efficace qu'au fond, nous appartenons tous à un même groupe, celui d'*H. sapiens*.

C'est notre sociabilité augmentée qui explique que nous ayons supplanté les autres espèces de la lignée des hominines. En termes évolutifs, cette hypersociabilité se traduit par tous les comportements positifs, intentionnels ou non, que nous avons à l'égard des autres. Malgré l'augmentation de la taille du groupe, ils rendent possible une bien plus grande proximité physique grâce à notre capacité à très rapidement lire les intentions des gens. Les effets de nos interactions sociales ainsi intensifiées sur le succès évolutif de notre espèce – notamment la capacité à résoudre collectivement des problèmes mieux que ne peuvent le faire des individus seuls – se sont révélés si bénéfiques qu'ils ont modulé le façonnage de notre corps et de notre esprit par la sélection. La capacité à partager des connaissances entre les générations qui en résulte a produit la technologie et la culture qui nous ont permis de nous multiplier et de peupler la planète. ■

BIBLIOGRAPHIE

B. Hare, **Survival of the friendliest : *Homo sapiens* evolved via selection for prosociality**, *Annual Review of Psychology*, vol. 68, pp. 155-186, 2017.

R. Cieri et al., **Craniofacial feminization, social tolerance, and the origins of behavioral modernity**, *Curr. Anthropol.*, vol. 55, pp. 435-436, 2014.

B. Hare et V. Woods, **The Genius of Dogs : How Dogs Are Smarter Than You Think**, Dutton, 2013.

B. Hare et al., **The self-domestication hypothesis : Evolution of bonobo psychology is due to selection against aggression**, *Animal Behaviour*, vol. 83(3), pp. 573-585, 2012.

P. Jouventin, **La domestication du loup**, *Pour la Science*, n° 423, décembre 2012.

R. Wrangham, **Comparative rates of aggression in chimpanzees and humans**, *Primates*, vol. 47, pp. 14-26, 2006.

H. Leach, **Human domestication reconsidered**, *Curr. Anthropol.*, vol. 44, pp. 349-368, 2003.



L'intelligence artificielle au service du réseau électrique

L'utilisation d'algorithmes d'apprentissage permet non seulement de repérer des dégâts sur le réseau de distribution moyenne et basse tension géré par Enedis, mais aussi d'identifier les portions à risques et anticiper les pannes.

Cent dix mille kilomètres, soit presque trois fois le tour de la Terre : chaque année, Enedis contrôle un tiers de son réseau électrique moyenne tension (entre 1 kV et 50 kV) aérien. « Cette inspection se déroule à pied, en hélicoptère ou par drones et donne lieu à des milliers de prises de vues, explique Guillaume Langlet, chef du Département Expertise et Relations Fournisseurs Matériels d'Enedis. Il s'agit de repérer des poteaux endommagés ou envahis par la végétation, des attaches de ligne usées, un transformateur défectueux, un isolateur brisé... Une centaine d'anomalies possibles donnent ainsi lieu chaque année à plus de 10 000 interventions destinées à prévenir tout risque de coupures. » Enedis développe, exploite et modernise le réseau électrique moyenne tension (nommé HTA, pour haute tension A selon la réglementation française), soit 650 000 km dont 322 000 km en aérien, et

également le réseau basse tension (BT), 725 000 km, dont 390 000 km en aérien. Les lignes HTA représentent un enjeu particulier, car elles desservent davantage de clients. Elles forment en quelque sorte les « routes nationales » du réseau, les lignes BT figurant les « voies communales ».

Aujourd'hui, les défauts sont repérés grâce à l'œil exercé des agents. Mais Enedis s'est engagé dans un programme de R&D afin de systématiser la reconnaissance des anomalies sur image, à l'aide de l'intelligence artificielle.

« Pour cela, nous avons recours à des algorithmes d'apprentissage supervisés pour la reconnaissance d'images, explique Cécile Dondé, cheffe du projet MAP (MAintenance Prévisionnelle des Réseaux Électriques). Il en existe déjà beaucoup, mais il faut choisir les plus pertinents, les adapter et savoir les entraîner avec des bases de données adéquates. » Parmi les plus connus de ces algorithmes « apprenants », on

trouve le type Random Forest, dont le principe consiste à bâtir un arbre de probabilité en fonction de divers paramètres propres au domaine étudié. « L'algorithme construit lui-même son arbre qui peut comporter de très nombreuses ramifications, reprend Cécile Dondé. Et il évolue pendant la phase d'entraînement, du fait de sa capacité à apprendre. Pour cela, nous allons d'abord lui indiquer ce qu'il voit sur les images afin qu'il soit en mesure d'identifier les différentes parties du réseau : poteau, lignes, isolateurs... »

Ensuite, nous lui montrons des photos d'anomalies. Une fois au point, l'algorithme devra comparer un élément présent sur un nouveau cliché avec le même en bon état, déterminer la probabilité qu'il soit endommagé, et enfin proposer d'intervenir. »

Pour reconnaître les constituants du réseau HTA, l'algorithme dispose de deux critères : la forme et la couleur. Soit un grand nombre de configurations, car les



photographies peuvent être prises sous des angles différents et des luminosités variables. Par ailleurs, un poteau envahi de lichen n'aura pas la même couleur qu'un neuf. La lecture des images par l'algorithme est d'autant plus délicate. Et si certaines anomalies sont évidentes, comme un poteau penché, ou un isolateur brisé, d'autres sont plus subtiles. Par exemple, les anneaux qui portent les lignes HTA s'usent sous l'effet des frottements dus au vent. Neufs, ils mesurent 15 mm de diamètre. Ils doivent être changés lorsqu'ils n'en font plus que 5.

UNE DÉTECTION FIABLE

Détecter de si faibles écarts sur un cliché pris à une dizaine de mètres au moins est une gageure. « Pour parvenir à des résultats satisfaisants, nous devons bâtir une banque d'images exhaustive, continue Cécile Dondé. Actuellement, nous entraînons notre algorithme avec 10 000 images. Mais certaines anomalies rares ne sont pas bien documentées, il faut donc toujours compléter. Cela prend du temps. »

Afin de tester la faisabilité d'un tel projet, Enedis, avec le support de la direction R&D d'EDF, a organisé en 2019 un challenge

Nous entraînons notre algorithme avec 10 000 images. Mais pour documenter les anomalies rares, il faut toujours compléter

SAIRA (Système d'Analyse d'Images Réseau Automatisé) avec des fabricants de drones, des start-up ou des PME spécialisées dans l'intelligence artificielle, et des grands industriels. Les compétiteurs devaient examiner un jeu d'images comportant 30 sortes d'anomalies différentes. Les meilleurs ont relevé jusqu'à 70 % d'un type de défaut spécifique (par exemple, 70 % des lignes sectionnées présentes dans l'échantillon). Un résultat suffisamment bon pour être utilisé en appui opérationnellement, même si l'objectif fixé par Enedis est une détection de 95 % des occurrences, pour chaque catégorie d'anomalie.

Un nouveau challenge sera organisé en 2021, ce qui permettra de mesurer les progrès réalisés. Le projet, commencé il y a trois ans, pourrait aboutir d'ici à 2025. « Détecter 95 % des occurrences est un objectif élevé, conclut Cécile Dondé. D'autant plus qu'Enedis souhaite minimiser les fausses alarmes, ce qui nécessite un réglage délicat de la sensibilité. Nous obtenons d'ores et déjà des résultats satisfaisants quant à la reconnaissance des divers éléments du réseau. Il nous reste à progresser sur l'identification des anomalies. »

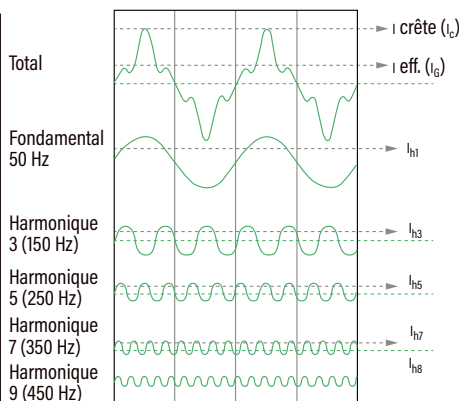
Aussi performant soit-il, un logiciel de reconnaissance d'images ne pourra qu'analyser celles prises lors des campagnes ►

DU COURANT, OUI, MAIS DE QUALITÉ...

Enedis n'a pas seulement la charge d'apporter le courant à ses clients, il doit aussi veiller à sa qualité. « C'est ce que l'on appelle la "qualité de l'onde", ou "qualité de tension", explique Kevin Lorenzo, ingénieur-chercheur au département MIRE (Mesures et Systèmes d'Informations des Réseaux Électriques). L'onde parfaite est une sinusoïde d'amplitude 230 V, et d'une fréquence de 50 Hz. Mais les nouveaux usages, notamment tout ce qui transforme le courant alternatif en courant continu (chargeurs de téléphone portable, lampe LED) génère un "bruit" parasite qui s'ajoute au signal initial. La sinusoïde se retrouve déformée. » L'application d'une transformée de Fourier permet de visualiser directement ces perturbations, l'onde étant décomposée en sa fondamentale (la sinusoïdale initiale non déformée) et une série de sinusoïdes de plus faibles amplitudes, les harmoniques, responsables des perturbations (cf. schéma). « Pour une tension fournie de qualité, la somme des amplitudes des harmoniques (appelée "taux de distorsion harmonique totale" ou THD) ne doit pas dépasser 8% de l'amplitude de l'onde fondamentale, précise Florian Couronne, également ingénieur-chercheur au département MIRE. Car ces harmoniques engendrent des courants parasites qui chauffent les composants électroniques des usagers, ce qui peut mener à une casse du matériel. »

FILTRE ANTIHARMONIQUE

Au niveau de chaque équipement électronique, des normes d'application obligatoire limitent l'amplitude de chaque courant harmonique de manière à limiter le THD induit sur le réseau à moins de 8%. Sauf que ces normes ne sont pas toujours respectées. Il existe aussi des solutions locales, comme l'application de filtres antiharmoniques, mais c'est du cas par cas...



« Il faut aller sur site, trouver la source de la perturbation, et appliquer un filtre antiharmonique spécifique, détaille Kevin Lorenzo. C'est donc très ponctuel. »

Pour l'instant, les éléments perturbants sont en général de faible puissance et n'occasionnent que rarement des THD élevés. Mais cela va

Panneaux photovoltaïques, voitures électriques et pompes à chaleur sous la surveillance de l'IA

potentiellement changer avec le développement de trois types d'équipements contenant de l'électronique de puissance : les panneaux photovoltaïques, les voitures électriques et les pompes à chaleur. Avec des puissances de l'ordre du kilowatt, ils occasionneront des perturbations plus conséquentes. Comment vont-elles se répartir sur les 800 000 réseaux basse tension disséminés sur tout le territoire ? Estimer le THD par réseau

demanderait un grand nombre de simulations.

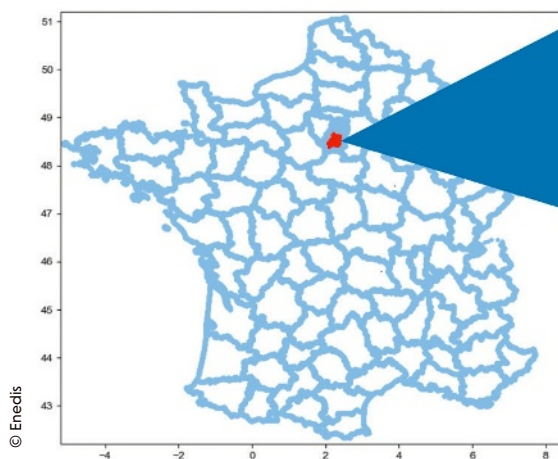
Pour chacun, il existe une trentaine de paramètres (nombre de clients desservis, longueur des câbles, puissance du transformateur...) qu'il faut mettre en regard avec le taux de pénétration supposé de ces différents équipements jusqu'en 2035, horizon fixé par Enedis. Impossible de procéder de la sorte avec les 800 000 réseaux, d'autant plus qu'il faut considérer plusieurs scénarios de développement. Cela prendrait des dizaines d'années de simulation. D'où l'idée de recourir à l'intelligence artificielle pour optimiser ces calculs.

RÉGULARISATION DE TIKHONOV

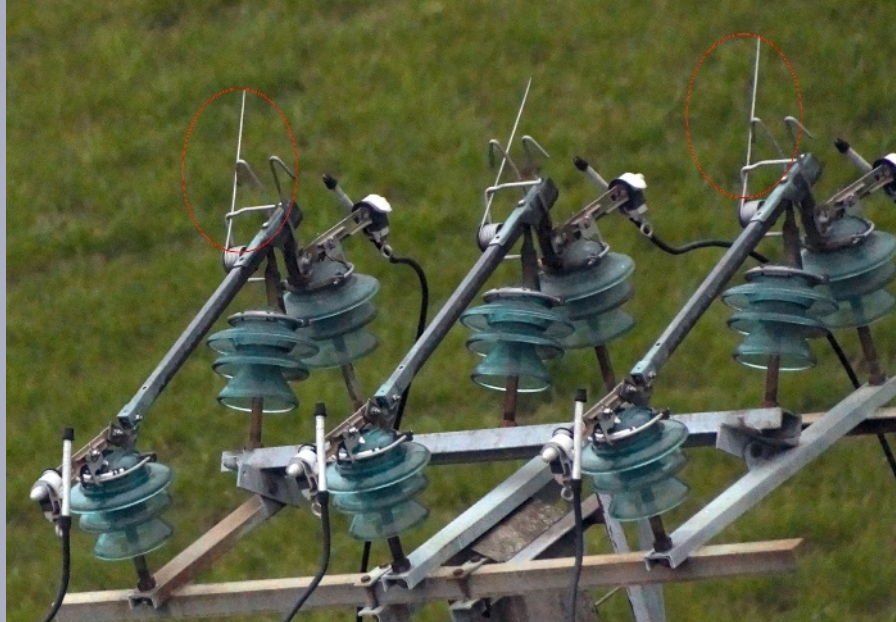
« La première étape a consisté à lister tous les paramètres réellement influents sur les harmoniques, détaille Florian Couronne. Ensuite, nous avons élaboré une base d'apprentissage de 20 000 réseaux représentative pour des études harmoniques de ce que l'on peut trouver sur le territoire. Puis nous avons modélisé le comportement de ces réseaux grâce à un algorithme de type Machine Learning, avec des scénarios prenant en compte divers taux de pénétration des équipements. Nous sommes ainsi parvenus à mettre au point un algorithme final, un cœur de calcul, capable d'estimer le THD de n'importe lequel des 800 000 réseaux, en fonction d'une dizaine de paramètres seulement, et du taux de pénétration envisagé. » Pour la mise au point du cœur de calcul proprement dit, les ingénieurs ont passé au crible les différentes solutions existantes : réseaux de neurones, arbres de décisions, régressions à vecteurs de support... Ils ont choisi finalement un type hybride, conjuguant plusieurs des modèles ci-dessus, et utilisant une « régularisation de Tikhonov ».

Le résultat final se présente sous la forme d'une « carte de France du risque harmonique » (cf. illustration ci-contre), où l'état de chaque réseau apparaîtra selon un code couleur. L'entreprise sera alors à même d'ajuster la localisation et l'échéance de ses investissements pour renforcer le réseau. Une première mouture a été élaborée cette année, encore imparfaite. « Quelques paramètres de modélisation sont à revoir, conclut

Florian Couronne. Il est notamment très compliqué de modéliser le comportement des véhicules électriques, car il en existe de toutes les sortes, de toutes les marques... » Une fois ces derniers réglages effectués, le logiciel final devrait être disponible courant 2021.



Chaque réseau est représenté par un point vert, orange ou rouge symbolisant le taux de distorsion harmonique total, en fonction du scénario de développement des nouveaux usages considéré.



Au sommet de ce poteau, deux des trois fouets constituant ces interrupteurs aériens sont sortis de leur logement. L'algorithme doit les distinguer de celui du milieu, resté en place.

► d'inspection annuelles, soit un tiers des 322 000 km de réseau aérien HTA... Comment éviter qu'une panne ne se produise sur les deux tiers restants ? Là encore, l'intelligence artificielle a un rôle à jouer, non plus seulement pour repérer les défauts, mais pour les prévenir dans le cas particulier des ruptures de lignes. Tout comme dans le film *Minority Report* les autorités arrêtent les criminels avant qu'ils ne commettent leur méfait, les techniciens seraient informés des portions de lignes fragiles avant qu'elles ne cèdent, sans inspection préalable. Dans ce domaine, Enedis ne part pas de zéro. L'entreprise utilise déjà ce principe d'anticipation sur d'autres types d'installations. « Le premier cas d'usage a été la détection des départs basse tension accidentogènes en 2016 », explique Odilon Faivre, chef de projet R&D et Innovation à Enedis. Un départ basse tension correspond à un câble de sortie d'un transformateur. En ville, ce câble peut desservir jusqu'à 100 foyers, et mesurer une centaine de mètres. La France en compte 2 millions, dont 1,6 million comportant des portions enterrées. « Nous avons cherché à repérer les départs souterrains ayant un défaut interne, qui relève du vieillisse-

ment du câble et non d'un arrachage par exemple, reprend Odilon Faivre. Avec des algorithmes d'apprentissage automatique, nous regardons une année donnée ce qui s'est passé. Par exemple, en 2018, quels départs ont eu un accident ? De quel type ? Est-ce qu'il y a des câbles voisins ? L'endroit est-il humide ? Y a-t-il eu des travaux à proximité ? On peut recenser jusqu'à 500 variables explicatives. » C'est ainsi que l'algorithme apprend, en étudiant la vie d'un câble sur les neuf dernières années. Ensuite, il est capable de donner une probabilité d'incident sur un départ nouvellement introduit dans sa base, en fonction de ses paramètres propres. « L'enjeu était de parvenir à gérer un grand volume de données, vu le nombre de départs BT et de variables. Mais grâce à cela, nous sommes passés d'un raisonnement par moyenne, selon l'âge et la technologie du départ, à un diagnostic individualisé. La méthode de ciblage permet d'identifier précisément des zones de réseau au moins neuf fois plus accidentogènes que la moyenne. » Ce modèle a ensuite été adapté aux 30 000 départs HTA en 2020, avec succès. D'où l'idée de le transférer non plus aux seuls départs, mais à l'ensemble des lignes

HTA... « Le problème est très différent puisque cela concerne de l'aérien, reprend Odilon Faivre. Jusqu'à présent, les modèles traitaient des câbles enterrés dont les faiblesses dépendent surtout de leurs caractéristiques propres. Avec l'aérien, les faiblesses sont aussi exogènes et concernent la météorologie, la végétation, le type de terrain. Une simple adaptation de ce qui se fait sur des portions enterrées ne suffit plus, il faut revoir le modèle en profondeur. »

FIXER DES PRIORITÉS EN FONCTION DE L'HABITAT

L'étape clé consiste là encore à décrire avec précision les conditions de vie du câble, en fonction de cet environnement aérien. Pour cela, il existe de nombreuses bases de données, la plupart du temps en libre accès. « Les données IGN fournissent l'altitude des câbles, et donc la présence de zones escarpées par exemple. La base CORINE Land Cover, un inventaire biophysique de l'occupation des sols et de son évolution, indique si le câble traverse une zone de forêt, ou une zone agricole. Enfin, les données météo permettent de savoir s'il subit régulièrement des orages ou des tempêtes. » Ces données sont ensuite ajoutées à celles intrinsèques au câble : son type, son âge, les incidents passés. Au final, on retrouve là encore un grand nombre de variables internes et externes : 600, le réseau de 322 000 km étant lui-même divisé en 200 000 portions. En prenant en compte tous ces éléments, l'algorithme doit être capable de prévoir les câbles à changer en priorité, tout en donnant des indications précises sur les portions les plus fragiles afin de limiter les remplacements inutiles. Il tiendra compte aussi du nombre de foyers desservis par les lignes en question afin de fixer des priorités, certaines lignes desservant moins de 200 foyers, d'autres plus de 5 000. Le projet pourrait aboutir dès l'année prochaine. Reste un dernier point : transmettre cet outil aux équipes sur le terrain. « Il y a un travail de pédagogie à faire, souligne Odilon Faivre. Car l'intelligence artificielle est un terme abstrait. Cela peut ressembler à une boîte noire dont on ne comprend pas le fonctionnement. Alors qu'après tout, cela reste des mathématiques, où l'on tente de faire passer une droite par un maximum de points, pour simplifier... Je passe donc du temps avec les équipes chargées de la maîtrise d'ouvrage afin de leur expliquer en quoi consiste cet outil et comment il les aidera au quotidien. » ■

L'algorithme doit être capable de prévoir les câbles à changer en priorité et d'optimiser les remplacements

L'ESSENTIEL

> Le produit intérieur brut (PIB) est presque universellement utilisé pour évaluer la situation économique d'un pays.

> La crise financière de 2008-2009 a mis en évidence la nécessité de trouver de meilleurs moyens de mesurer la qualité d'une économie et le bien-être d'une société.

> Diverses équipes de chercheurs ont conçu des « tableaux de bord » de plusieurs indicateurs quantitatifs, pour aider à orienter les sociétés vers l'avenir que souhaitent leurs citoyens.

> Plusieurs pays ont commencé à intégrer ces indicateurs dans leurs processus décisionnels.

L'AUTEUR



JOSEPH STIGLITZ
professeur d'économie
à l'université Columbia, à New York,
colauréat en 2001 du prix
de sciences économiques décerné
en mémoire d'Alfred Nobel

PIB

Un indicateur très insuffisant

À force de se focaliser sur un seul indicateur économique, le produit intérieur brut, ou PIB, de nombreux pays ont vu la santé et le bien-être de leurs habitants, ainsi que l'environnement, se détériorer. Par quoi faudrait-il compléter ce chiffre pour mesurer ce qui compte vraiment ?

Depuis la Seconde Guerre mondiale, la plupart des États dans le monde en sont venus à utiliser le produit intérieur brut, ou PIB, comme mesure de base de leur prospérité. Le PIB mesure la production marchande : c'est la valeur monétaire de tous les biens et services produits dans une économie au cours d'une période donnée, généralement un an. Des gouvernements peuvent tomber si ce chiffre baisse, et il n'est donc pas surprenant que l'on s'efforce de le faire augmenter. Mais s'efforcer de faire croître le PIB n'est pas la même chose que d'assurer le bien-être d'une société.

En vérité, comme l'a dit le sénateur américain Robert Kennedy, «le PIB mesure tout, sauf ce qui fait que la vie vaut la peine d'être vécue». Ce chiffre ne mesure pas la santé de la population, son niveau d'instruction, l'égalité des chances, l'état de l'environnement ou de nombreuses autres dimensions de la qualité de la

vie. Il ne mesure même pas des aspects cruciaux de l'économie tels que sa durabilité, c'est-à-dire si elle se dirige ou non vers un krach.

Mais ce que nous mesurons a de l'importance, car cela guide nos actions. Aux États-Unis, nous avons eu une idée de ce lien de cause à effet pendant la guerre du Vietnam, avec l'accent mis par l'armée sur le décompte hebdomadaire de soldats ennemis tués. Le recours à cette mesure morbide a conduit les forces américaines à entreprendre des opérations qui n'avaient d'autre but que d'augmenter le nombre de morts dans le camp adverse. Comme un ivrogne qui cherche ses clés sous le réverbère (parce que c'est là que se trouve la lumière), l'accent mis sur le nombre de morts nous a empêchés de comprendre le tableau d'ensemble : le massacre incitait plus de Vietnamiens à rejoindre le camp ennemi que les forces américaines n'en tuaient.

Aujourd'hui, un décompte de morts différent – celui du Covid-19 – se révèle être une