

L'électricité : l'énergie de l'avenir pour les véhicules individuels

Les trente premières années de l'ère automobile furent marquées par une intense compétition entre le moteur électrique, la machine à vapeur et le moteur à explosion. Après avoir presque disparu, face à la concurrence des véhicules utilisant des produits pétroliers, le véhicule électrique a fait un retour raté dans les années 1990. Il revient, aujourd'hui, avec des atouts nouveaux, et fait l'objet d'études et d'expérimentations approfondies, visant à en valider les solutions techniques et le modèle économique...

par Igor CZERNY*

« **N**ous avons franchi une étape importante dans le développement de l'électricité, notamment dans les transports, comme source d'énergie compétitive et propre, qui respecte les enjeux de la planète et les besoins de mobilité individuelle. La contribution à la réduction des gaz à effet de serre est au cœur des engagements et des choix d'investissements du Groupe EDF, qui est aujourd'hui parmi les énergéticiens les moins émetteurs de CO₂ ». (Pierre Gadonneix, Président Directeur Général d'EDF).

La France, tout comme EDF, a de bonnes raisons pour participer au développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables : en effet, nous possédons l'expérience, nous maîtrisons les technologies idoines, et nous pouvons appuyer nos efforts sur des constructeurs, nationaux et internationaux, désormais pleinement engagés.

Par ailleurs, plus l'électricité est elle-même produite à partir d'énergies non carbonées (nucléaire et renouvelables), plus elle constitue une alternative intéressante au

moteur thermique, en tant que vecteur de réduction des émissions de gaz à effet de serre dues au transport individuel : cela confère à la France une légitimité indéniable à jouer un rôle de premier plan dans le développement du véhicule électrique et du véhicule hybride rechargeables.

Le véhicule électrique et le véhicule hybride rechargeable sont devenus aujourd'hui des enjeux énergétiques, sociétaux, industriels et, donc, politiques.

Tout autant que la crise de l'industrie automobile, l'évolution des technologies, celle des mentalités et la volonté politique et industrielle permettent d'affirmer que « la voiture du XXI^e siècle sera électrique ou ne sera pas » ou, à tout le moins, que « l'électricité est l'avenir de l'automobile ».

Tous les problèmes ne sont pas réglés pour autant, toutes les questions n'ont pas encore trouvé de réponse probante, mais le mouvement vers le véhicule électrique apparaît inéluctable. La question posée n'est plus de savoir si l'électricité participera au *mix* énergétique de l'automobile,

* Directeur du Transport et des Véhicules Électriques, Electricité de France.



© ULLSTEIN BILD/ROGER-VIOLETTE

Le constructeur automobile Ferdinand Porsche, dans sa jeunesse, devant un dispositif électrique construit par lui dans la maison de ses parents. Photo, 1^{er} avril 1894.

mais bien : quand et comment ? Il s'agit donc de prendre notre part à cette évolution et d'en maîtriser les différentes phases, au mieux des intérêts de la collectivité nationale, c'est-à-dire du public et de l'Entreprise.

LES RACINES DU FUTUR

L'histoire de l'automobile est jalonnée de rendez-vous avec l'électricité. Les trente premières années de l'ère automobile furent marquées par une intense compétition entre trois modes de propulsion : la machine à vapeur, le moteur à explosion et le moteur électrique. Savez-vous quelle est la première « automobile » à avoir franchi le seuil symbolique des 100 km/h ? Ce fut la « *Jamais Contente* », une voiture « électrique » en forme de torpille sur roues, construite par la Compagnie Générale Belge des Transports Automobiles Jenatzy

(1) *Electric Vehicles in the early years of the automobile*, 2004, article de Carl Sulzberger pour l'*IEEE Power Engineering Society*.

(2) *Un cas d'amnésie stratégique : l'éternelle émergence de la voiture électrique*, article de Frédéric Fréry (IX^e Conférence Internationale de Management Stratégique, Montpellier, 24, 25 et 26 mai 2000).

(record établi le 1^{er} mai 1899, à Achères, dans l'actuel département des Yvelines) !

Lors de cette même année 1899, il y avait douze fabricants de véhicules électriques aux États-Unis, et 28 % des 4 192 automobiles immatriculées dans ce pays l'année suivante étaient propulsées par un moteur électrique (1).

En 1900, alors âgé de 24 ans, Ferdinand Porsche présenta à Paris la première version de la Lohner-Porsche, propulsée par des moteurs électriques logés dans les moyeux des roues, pour le compte des ateliers Lohner & Co, carrossiers de la Cour royale et impériale de Vienne. En 1901, cet ingénieur visionnaire modifie légèrement son projet, avant de le présenter au Salon de l'Auto de Paris : il y ajoute un moteur thermique couplé à un générateur électrique, ce qui fait de la Lohner-Porsche le premier « véhicule hybride » de l'histoire !

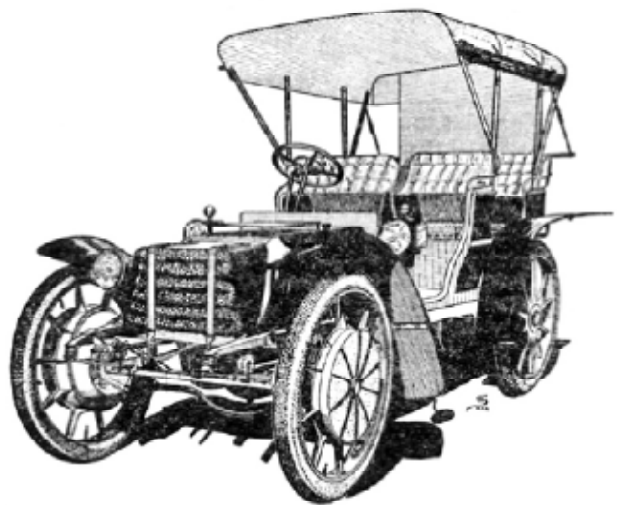
En 1912, alors que débute la production en série de la Ford T, 34 000 véhicules électriques sont en circulation aux États-Unis. A New-York, la compagnie *American Express* utilise une flotte de 50 camions électriques Baker. A l'époque, ces véhicules, extrêmement fiables, sont utilisés par 200 entreprises aux États-Unis (2).

Pourtant, quoique fiables, les technologies de propulsion électrique pâtiennent, dès l'origine, de deux handicaps, qui restent d'actualité :

- des coûts de production (et donc de vente) non compétitifs ;
- la capacité limitée et le poids, rédhibitoire, des batteries.

Or, les performances des moteurs atmosphériques (les moteurs « à explosion ») sont, quant à elles, croissantes : cela a pour effet de creuser un écart considérable entre les deux modes de motorisation.

LES ANNÉES 1990 : DE FOLLES ILLUSIONS,



© SCIENCE PHOTO LIBRARY-COSMOS

La Lohner-Porsche de 1901, première voiture hybride de l'histoire. Gravure d'époque.

ET DE DURES RÉALITÉS

Avec les années 1990, l'électricité renoue avec le moyen de transport emblématique du XX^e siècle : l'automobile individuelle.

La hausse du prix des hydrocarbures, la prise de conscience des dépendances qu'elle induit et l'émergence d'une conscience environnementale sont concomitantes de progrès techniques et technologiques, qui permettent au véhicule électrique de connaître une « seconde jeunesse ».

Pourtant, ces améliorations techniques ne transcendent pas les handicaps (réels, ou perçus) des technologies de propulsion électriques.

Les batteries restent lourdes et chères, et elles n'offrent qu'une autonomie jugée insuffisante (sans doute à tort) par les propriétaires de véhicules individuels. Par ailleurs, leur usure pose aussi problème : comme c'est le cas pour n'importe quelle pile électrique, leur capacité s'épuise avec le temps, et surtout en fonction du nombre de recharges successives. Résultat : il faut en changer, et cela entraîne un coût supplémentaire.

Le développement des infrastructures de recharge est à la hauteur du piètre succès commercial de ces véhicules : en France, on ne compte, à ce jour, que 200 bornes de recharge (dont une centaine pour la seule ville de Paris).

Le temps du véhicule électrique individuel n'était sans doute pas venu ?...

Effectivement : la technologie n'était pas au point ou, à tout le moins, elle n'avait pas effectué le bond en avant nécessaire à une remise en cause du modèle automobile classique. Par ailleurs, le contexte économique et politique n'était pas propice. Enfin, les mentalités et la perception de l'automobile n'avaient pas suffisamment évolué, pour permettre au véhicule individuel électrique de pénétrer les marchés grand public...

En conséquence, le développement de cette seconde génération de véhicules électriques resta cantonné à des parcs captifs (principalement ceux des administrations ou des services publics). C'est ainsi qu'EDF devint l'heureux propriétaire d'une flotte de 1 500 véhicules électriques, ce qui fit de l'énergéticien français le premier exploitant au monde de ce type de véhicules.

Néanmoins, un certain nombre d'acteurs, au premier rang desquels figure EDF, acquièrent alors une précieuse expérience, et donc un *leadership* incontestable (et d'ailleurs non contesté), en matière d'exploitation de véhicules électriques, de déploiement d'infrastructures pilotes de charge, de gestion et de maintenance de parcs de batteries, etc. En parallèle, les investissements de recherche et développement dans les technologies et les infrastructures critiques étaient poursuivis, notamment dans le domaine des batteries et de leur charge rapide, faisant ainsi d'EDF un pôle de compétence et d'expérience incontournable, au niveau européen.

(3) Dominique Bourg, professeur à l'Université de Lausanne, cité par le quotidien helvétique « Le Temps », 2 mars 2009.

En dépit de l'échec commercial du véhicule électrique individuel de deuxième génération, certaines réalités finissent par s'installer. EDF, quant à elle, n'a jamais cessé d'investir, de maintenir une veille technologique et concurrentielle, de conduire des expérimentations de produits ou de modèles d'affaires, ni de participer à la sensibilisation des collectivités locales et du grand public à l'avenir prometteur du véhicule électrique.

CE QUI EST SOUHAITABLE, ET CE QUI EST POSSIBLE

Le changement climatique est une réalité aujourd'hui incontestée, faisant de la réduction des émissions des gaz à effet de serre un enjeu politique et diplomatique de dimension planétaire.

La contribution de l'automobile à la pollution et les conséquences de cette dernière en terme de santé publique font l'objet d'une prise de conscience sans précédent.

Les prix du pétrole connaissent des amplitudes de variation considérables. L'horizon auquel les réserves vont s'épuiser (ou n'être exploitables que dans des conditions économiques extrêmement difficiles) s'est rapproché : il est désormais devenu « visible ». Ce qui, jusqu'à présent, était considéré comme une alternative possible est en passe de devenir l'unique recours.

L'industrie automobile connaît une crise sans précédent, bien entendu d'ordre économique, mais aussi, sans doute, de nature sociétale et culturelle.

L'écologie urbaine et périurbaine est désormais un enjeu politique majeur, et les transports individuels sont un élément essentiel des stratégies de développement durable. D'ailleurs, on parle désormais de « mobilité durable ».

Les composants des véhicules électriques individuels ont fait des progrès importants en matière d'allègement. Un saut technologique est intervenu, avec le développement des batteries Lithium-Ion, dont la densité énergétique (rapport énergie délivrable/poids) a été grandement améliorée, et qui ne connaissent plus cet « effet-mémoire », qui caractérisait les générations antérieures d'accumulateurs (ceux-ci se rechargeant de plus en plus incomplètement, au fil des recharges successives). On assiste, par ailleurs, au développement (ou plutôt, à la renaissance) des véhicules hybrides, que Ferdinand Porsche avait portés sur les fonds baptismaux, nous l'avons vu, au début du XX^e siècle.

Le contexte actuel n'a donc jamais été aussi favorable à ce que l'électricité trouve enfin sa place dans le *mix* énergétique du transport individuel, alors qu'elle est déjà depuis longtemps (trains), voire depuis l'origine (tramways, trolleybus, métros), le « carburant » principal du transport collectif.

Par ailleurs, les mentalités évoluent, tandis que les modes de mobilité sont en mutation. « La voiture car-bure [encore] aux valeurs du XIX^e siècle » (3)... Le

désir de possession et de supériorité, la vitesse, la puissance, la consommation effrénée de pétrole sont des socio-types aujourd'hui largement mis en cause. Accusée de mille maux, l'automobile, dans son acception traditionnelle, est devenue aujourd'hui moins désirable. L'on passe ainsi, peu à peu, d'une envie de posséder un objet (une voiture) à un désir de mobilité, à une aspiration de partage.

L'autonomie, jugée insuffisante, des véhicules électriques (ceux de la flotte EDF, au milieu des années 1990, avaient pourtant une autonomie, honorable, de 90 à 100 km) a connu des améliorations conséquentes. De plus, avec l'évolution des mentalités, la perception que l'utilisateur en a est en train de changer.

Ainsi, les constructeurs automobiles américains, que l'on a longtemps soupçonnés d'être irresponsables en matière d'environnement et de feindre de croire éternelles les réserves de pétrole, reconnaissent aujourd'hui que l'autonomie des véhicules électriques de nouvelle génération est suffisante pour faire face aux besoins de mobilité de l'immense majorité des utilisateurs d'outre-Atlantique. En effet, quatre-vingts pour cent des Américains parcourent en voiture moins de 65 km par jour (4) (et 98 %, moins de 160 km (5)).

Un siècle plus tard, l'électricité tiendrait-elle sa revanche sur le pétrole ? Elle apparaît aujourd'hui comme l'une des voies privilégiées de sortie de crise pour l'industrie automobile, tant en termes d'image que de création de valeur. Aujourd'hui, l'électricité ferait presque figure de providence de l'automobile et, grâce à elle, « la voiture, symbole de la croissance et de la prospérité d'hier, [peut devenir] le vecteur de la croissance de demain (6) ». Toutes les conditions seraient-elles donc enfin réunies pour que la voiture électrique entre dans la phase industrielle ? Le réchauffement climatique, la crise économique et les évolutions technologiques semblent bien avoir, cette fois-ci, brisé le cercle vicieux de l'absence d'offre adaptée et de demande du grand public.

Depuis Nicolas Sarkozy jusqu'à Barack Obama, les chefs d'Etat ne s'y sont pas trompés. Le Président français a, ainsi, dévoilé une ambitieuse politique visant à appuyer le développement de véhicules « décarbonés », au premier rang desquels les véhicules électriques et hybrides rechargeables. Le Président des Etats-Unis conditionne, quant à lui, l'octroi d'aides publiques au secteur automobile américain en détresse à la mise au point « à marche forcée » d'une filière industrielle et d'une offre de véhicules non-polluants. Ainsi, le 19 mars 2009, à l'*Edison Electric Vehicle Tech Center* de Pomona, en Californie, il a annoncé l'adoption d'un plan visant à mettre sur le marché un million de voitures hybrides (rechargeables sur le secteur) d'ici à 2015. Pour ce faire, des aides, à hauteur de 2,4 milliards de dollars, seront allouées aux acteurs concernés.

L'avenir du véhicule électrique ou hybride rechargeable passera par la Chine. En développant le nucléaire et en 'décarbonant' sa production d'électricité, la Chine

deviendra un acteur mondial majeur du développement de ces véhicules.

Lors d'un discours prononcé le 9 octobre 2008 au Mondial de l'Automobile de Paris, le Président de la République a, pour sa part, lancé une initiative de grande envergure ayant pour objectif de donner de la visibilité aux acheteurs et aux constructeurs : « Au cours des quatre prochaines années, 400 millions d'euros de financement public seront débloqués pour accélérer les efforts de R&D sur les véhicules décarbonés. En outre, pour soutenir la demande et favoriser la production en série, le bonus écologique de 5 000 €, déjà applicable pour tout véhicule particulier émettant moins de 60 g de CO₂/km, sera étendu aux véhicules utilitaires légers et (il sera) maintenu jusqu'en 2012. Ce dispositif ne sera réexaminé qu'une fois atteint le seuil de 100 000 véhicules décarbonés » (7).

Les constructeurs ne sont pas en reste. Tous les « grands » ont annoncé la sortie prochaine (dès 2010-2011) de véhicules grand public tout électrique ou hybrides rechargeables.

Certains vont même jusqu'à prévoir qu'en 2020, c'est la moitié des véhicules vendus aux Etats-Unis qui seront équipés d'une motorisation électrique (8). Le cabinet de conseil anglo-saxon A.T. Kearney prévoit un taux de pénétration des véhicules électriques de 10 % en 2020, dans un scénario fondé sur un prix de 100 \$ pour le baril de pétrole, ce taux passant à 25 % en cas de doublement du prix du pétrole (baril à 200 \$) (9).

Les développements technologiques associés vont eux aussi bon train. Ainsi, le cabinet McKinsey estime que les investissements des sociétés de capital-risque dans les entreprises développant des batteries ou des équipements auxiliaires ont décuplé entre 2003 et 2007, passant de 153 millions de dollars à 1,15 milliard (10). Sanyo, l'un des acteurs principaux du développement et de la production de batteries Lithium-Ion, indique un objectif de production de 10 millions de cellules d'ici à 2015, soit de quoi alimenter 1,7 million de véhicules (11).

(4) Frank Klegon, Directeur en charge des nouveaux produits de Chrysler, Communiqué de presse Chrysler, 28 Septembre 2008.

(5) Mark Perry, Directeur du planning stratégique et des nouveaux produits chez Nissan Americas, cité par *Green Car Advisor*.

(6) Déclaration de M. Nicolas Sarkozy, Président de la République, sur les enjeux de l'industrie automobile française, notamment environnementaux, au Salon mondial de l'Automobile, à Paris, le 9 octobre 2008.

(7) *ibidem*.

(8) Frank Klegon, Directeur en charge des nouveaux produits de Chrysler, cité par *Automotive News Europe* : « Europe to get Chrysler electric car after 2010 », 29 Septembre 2008.

(9) Note du Crédit Suisse, Septembre 2008.

(10) *Financial Times* : « Battery of developers in race to fuel electric cars », 3 Octobre 2008.

(11) *ibidem*.

(12) Antoine de Saint-Exupéry.

« POUR CE QUI EST DE L'AVENIR, IL NE S'AGIT PAS DE LE PRÉVOIR, MAIS DE LE RENDRE POSSIBLE » (12)

Pourtant, il faut se garder des illusions qui ont accompagné la fausse résurgence du véhicule électrique dans les années 1990. Tous les problèmes ne sont pas réglés, qu'ils soient techniques, industriels, liés aux infrastructures de charge ou au coût des véhicules individuels utilisant l'électricité pour tout ou partie de leur propulsion.

Un phénomène de « survente » avait caractérisé le discours sur le véhicule électrique, dans les années 1990. Or, en matière commerciale – surtout dans un domaine aussi chargé de symboles que l'automobile – les promesses non tenues coûtent cher !

Tout d'abord, l'électricité, en tant qu'énergie embarquée, peut se présenter sous divers aspects, concurrents ou complémentaires : le tout électrique et l'hybride rechargeable (voire la génération à bord, par le biais d'un générateur atmosphérique dédié). Par ailleurs, la technologie des batteries Lithium-ion, aux confins de la physique et de la chimie, reste, selon certains experts, difficile à manier, tant en termes de sécurité que de transition industrielle entre la présérie et la production de masse. Le modèle économique du véhicule individuel à propulsion électrique de demain n'a pas encore été validé. Le coût, à l'achat, des véhicules de ce type reste notablement supérieur (de l'ordre de 40 %) à celui des véhicules à moteur atmosphérique, et ce surcoût ne pourra être compensé, dans un premier temps, qu'au moyen d'incitations fiscales ou de l'octroi d'aides financières. La gestion et la maintenance des batteries devront peut-être avoir vu émerger un modèle d'affaires spécifique (leasing, plutôt qu'achat), avant que de pouvoir prétendre concurrencer les carburants traditionnels. Le modèle économique et les modalités de déploiement des infrastructures de charge des batteries des véhicules sont en cours de définition. Ils devront tenir compte de la durée de vie des batteries, ainsi que de celle des véhicules, et intégrer les problèmes juridiques particuliers que soulève la dérégulation du secteur électrique (distribution et commercialisation).

Nous entrons donc dans une phase, sans doute de deux ou trois ans, qui devrait permettre, par le biais d'expérimentations *in vivo* et *in situ*, de valider les hypothèses, de comparer les modèles économiques et les solutions techniques et de tester en vraie grandeur les modèles et les solutions techniques et économiques proposées par les constructeurs et les parties prenantes, qu'il s'agisse des collectivités locales, des distributeurs d'électricité, des gestionnaires d'espaces publics, etc. Autrement dit, nous allons distinguer le possible du souhaitable, afin de le mettre en œuvre.

D'ores et déjà, les collectivités locales, les grandes entreprises (en particulier celles appartenant au secteur public ou parapublic) sont en mesure de jouer un rôle moteur. Elles exploitent d'importantes flottes captives permettant de conduire des expérimentations grandeur

nature, suivies d'achats sur étagère, dans l'attente que la baisse des coûts (et donc, des prix) liée aux quantités produites permette de faire entrer le véhicule électrique individuel dans l'arène du marché grand public.

Les infrastructures de charge devront être déployées dans des conditions économiques acceptables pour toutes les parties, afin de permettre un développement harmonieux du parc automobile électrique et de satisfaire les besoins en mobilité des utilisateurs. La *stratégie nationale de déploiement des infrastructures de recharge pour les voitures électriques et hybrides* a été récemment annoncée par la Secrétaire d'Etat à l'Ecologie, Chantal Jouanno, et par le Secrétaire d'Etat chargé de l'Industrie et de la Consommation, Luc Chatel. Des groupes de travail réunissant industriels de l'automobile, collectivités locales, spécialistes de l'énergie et grandes entreprises, sont en train de définir les actions à mettre en œuvre.

Le projet-phare de cette stratégie nationale est l'instauration d'un partenariat Etat/grandes entreprises, qui permettra la commercialisation de 100 000 véhicules décarbonés en cinq ans. Cela devrait permettre d'engager les constructeurs dans une phase d'industrialisation rentable, et de stimuler une demande encore trop timide.

EDF, forte de ses cinquante ans d'expérience et d'implication dans le transport et les véhicules électriques, est pleinement intégrée à ces différents exercices de préparation de l'avenir. Sa position de centre de compétence et de réservoir d'expériences – unique en Europe, voire au monde – en fait un partenaire incontournable pour les différents acteurs de la filière des véhicules électriques ou hybrides rechargeables, qu'il s'agisse des constructeurs automobiles, des fabricants de batteries ou de bornes de charge, des collectivités locales ou d'exploitants d'importantes flottes de véhicules.

Cette année, au mois de décembre, EDF et Toyota (premier constructeur automobile mondial) mettront 100 véhicules hybrides, rechargeables par le biais d'une prise électrique, à la disposition d'entreprises et de partenaires institutionnels de la région de Strasbourg.

Le 9 octobre 2008, EDF et Renault ont annoncé la signature d'un protocole d'accord visant à créer, en France, un système à grande échelle de transport individuel à zéro émission.

Un accord similaire a été conclu entre EDF et PSA pour favoriser le développement et la commercialisation de véhicules électriques et hybrides rechargeables. S'appuyant sur une expérience de plusieurs décennies, EDF apporte à ses différents partenaires industriels une expertise de premier plan en matière de systèmes de charge des véhicules (charge normale et charge rapide) et de leur standardisation (afin de permettre le développement de bornes omni-véhicules), de protocoles de communication entre les véhicules et le réseau, durant la charge de la batterie (notamment par courant porteur en ligne, une technologie pour laquelle EDF a développé des solutions innovantes et matures) et leur

standardisation (pour permettre de faire jouer la concurrence entre fournisseurs d'électricité). Par ailleurs, l'expérience d'EDF, en tant que gestionnaire de flotte de véhicules électriques (l'entreprise exploite aujourd'hui encore la première flotte mondiale de ce type) et de batteries, sera d'une grande utilité pour ces différents partenariats, au même titre que notre longue histoire de relations harmonieuses avec les collectivités locales, en tant que conseiller ou fournisseur d'énergie.

EDF sera un acteur majeur de la révolution du véhicule individuel. D'abord, parce que rien de ce qui est électrique n'est étranger à l'activité du premier énergéticien européen, ensuite, parce que l'entreprise dispose d'un capital d'expérience et de savoir-faire, qu'il convient de mettre à la disposition d'une œuvre d'in-

térêt public et, enfin, parce que les automobilistes vont devenir des clients d'EDF ! Le développement du véhicule électrique ou hybride rechargeable implique la mise en place de systèmes de gestion intelligents de la facturation et de la gestion des pointes de consommation d'électricité, c'est-à-dire une évolution sensible dans la manière dont on distribue l'électricité dans notre pays. Acteur incontournable et fortement impliqué dans la filière, EDF prendra sa part et jouera son rôle pour que l'électricité, le « carburant bleu », prenne sa juste place dans l'avenir du véhicule individuel, que les évolutions technologiques, économiques et sociétales nous permettent d'ores et déjà d'entre-