

Les matériaux

par B. Delapalme



On trouvera, ci-dessous, le texte de la conférence présentée par M. B. Delapalme (Directeur Recherche, Développement et Innovation, S.N.E.A.) au Symposium franco-japonais sur les techniques de pointe organisé à Tokyo, les 16 et 17 avril 1982, à l'occasion du 1^{er} voyage au Japon d'un Chef d'État français : M. F. Mitterrand.

L'importance des matériaux pour l'économie moderne est tout à fait essentielle, mais très souvent sous-estimée.

En réalité, il est clair que pratiquement aucune branche industrielle ne peut être indifférente au progrès des matériaux qu'elle utilise couramment, et encore moins à l'utilisation des matériaux nouveaux. Les entreprises qui s'en soucieraient trop peu risqueraient de périr.

Ce qui frappe, de prime abord, dans ce domaine extrêmement vaste, c'est la multiplicité, tant des matériaux de base, que de leurs possibles associations; c'est aussi la cohabitation de matériaux nouveaux et de matériaux classiques, et la grande diversité des technologies de transformation. Les disciplines scientifiques et les secteurs industriels intéressés par ces problèmes de matériaux sont, eux aussi, très variés. Et nous reviendrons sur ce point. Mais, avant de citer des exemples d'études ou de réalisations avancées françaises dans ce domaine, il convient de faire un certain nombre de remarques sur les rapports entre matière première et matière grise.

En premier lieu, n'oublions pas qu'au niveau des matières premières, la France n'a la chance de trouver sur son hexagone, ni la quantité, ni la qualité, ni la diversité

des matières premières requises. Le poids sur la balance extérieure des importations de matières premières industrielles a été de 40 milliards de francs en 1980.

Les préoccupations françaises peuvent donc rejoindre celles de votre pays, ce qui donne un relief particulièrement vif aux échanges scientifiques, technologiques et industriels entre le Japon et la France sur le thème des matériaux.

Il est d'ailleurs intéressant et réconfortant de noter que le problème de cette indisponibilité en matières de base peut être compensé par un apport en « matière grise », c'est-à-dire par la maîtrise de techniques de pointe, et ceci pour plusieurs raisons.

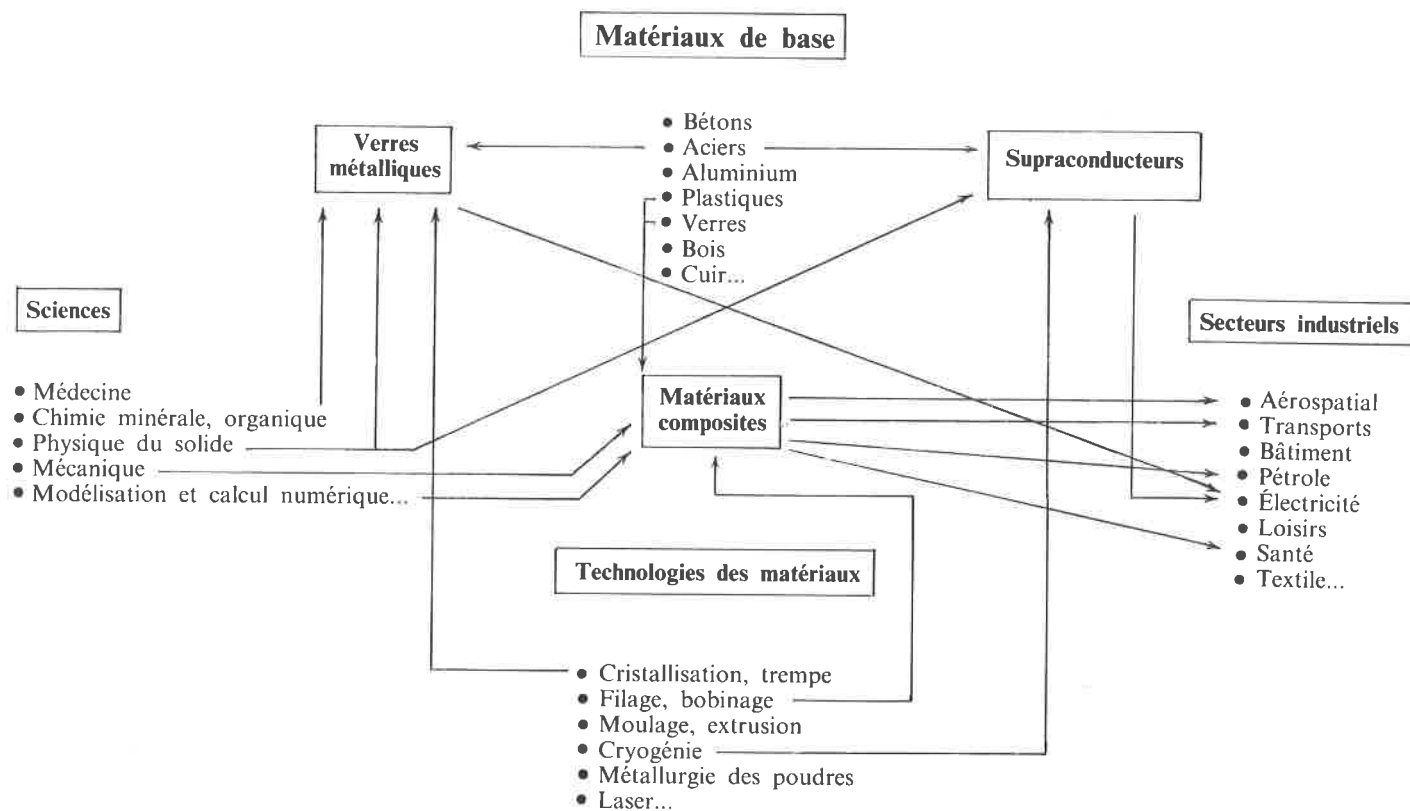
Tout d'abord, on peut maintenant, au niveau des matériaux relativement classiques, réaliser des économies de matière première :

- en mettant au point des techniques de production plus précises, gaspillant moins de matière,
- en imaginant des procédés de récupération ou de recyclage des déchets,
- et, surtout, en améliorant les performances des calculs de résistance mécanique des matériaux et en augmentant la qualité de leurs propriétés mécaniques ou de leur résistance à la corrosion, ce qui permet un gain net en matière première.

D'autre part, et surtout peut-être, l'évolution remarquable des matériaux lors de ces dernières années montre que, pour répondre aux besoins nouveaux des industries de pointe (telles que l'aéronautique, la santé, l'électronique), il est nécessaire de mettre au point des produits nouveaux de très hautes performances techniques : dans leur prix de revient, la part du coût « matière grise » est donc très importante, ce qui diminue relativement le problème des matières premières. Il est d'ailleurs imaginable et souhaitable que ces matériaux avancés conquièrent des marchés de plus en plus vastes (partant de l'aéronautique par exemple, pour aboutir à l'automobile ou à l'électro-ménager).

Il y a donc, pour l'industrie moderne, un jeu très important à jouer, qui consiste, partout où cela est possible, à profiter des progrès de la science et de la technologie pour perfectionner des matériaux anciens, ou produire des matériaux nouveaux, et, partout où cela est possible encore, à introduire ces nouveaux éléments dans les secteurs industriels les plus divers.

De ce point de vue, il faut souligner que les matériaux, produits semi-finis, occupent une place intermédiaire remarquable entre



Quelques exemples des nombreuses liaisons entre matériaux de base, technologies de mise en œuvre, sciences et secteurs industriels aboutissant à l'élaboration de matériaux de pointe.

les matières premières et les marchés en produits finis des grands secteurs industriels, tandis que le cycle d'innovation, qui aboutit finalement au succès d'un matériau, est une opération complexe; comme le montre le tableau ci-dessus, les relations entre les matériaux et les disciplines scientifiques d'une part, entre les matériaux et les secteurs industriels d'autre part, sont multiples. On pourrait les faire figurer en traçant un très grand nombre de flèches sur ce tableau. Seules quelques-unes ont été tracées, à titre d'exemple.

Le domaine des matériaux et de leurs technologies de mise en forme se caractérise donc par une forte inter-disciplinarité scientifique et industrielle; ceci implique un ensemble de liaisons recherche-industrie performantes, et il sera dit plus loin de quels moyens la France est dotée sur ce plan; c'est ainsi que la mise au point de « bio-matériaux » exige, aussi bien les compétences des médecins et des biologistes, que celles des chimistes et des physiciens.

Parallèlement, comme le montre toujours ce tableau, les matériaux et les technologies qui leur sont liées, sont fortement trans-sectoriels. On notera simplement ici que les matériaux composites, nés dans l'industrie aéronautique, ont des retombées dans le domaine biomédical.

Une conséquence de cet ensemble de remarques peut être que le domaine des matériaux est sans nul doute l'un de ceux où les réactions entre les marchés et la

technique sont les plus vigoureuses. Et, comme notre objectif majeur est le succès économique et social, il nous a semblé convenable de présenter quelques exemples de réalisations françaises, par le biais des secteurs auxquels elles se sont appliquées.

L'industrie aéronautique et spatiale

L'industrie des engins balistiques et spatiaux, et notamment des moteurs de fusée et des propulseurs à poudre, a été l'objet, dans notre pays comme dans d'autres, d'une véritable révolution technologique : il y a 15 ans, les taux d'utilisation des composites et des métaux dans les propulseurs à poudre étaient respectivement de 20 et 80 %; ces taux sont maintenant largement inversés.

Deux types de matériaux composites ont principalement fait l'objet de développement :

- les composites structuraux (résines et fibres de verre de carbone ou d'aramide), dont la faible densité permet l'allègement des matériels,
- les composites thermostructuraux (fibres réfractaires — matrices réfractaires telles que carbone/carbone), dont la résistance aux chocs thermiques et mécaniques est excellente.

Le prix de ces matériaux reste encore très élevé, ce qui a ralenti leur pénétration dans les secteurs industriels de grande consommation jusqu'à présent, et ceci malgré les services rendus (exemple : secteur automobile).

Ceci dit, l'aéronautique les a déjà utilisés largement en raison de leur légèreté, et la conception des ensembles évolue vers des systèmes composites où les formes des pièces sont simplifiées, les usinages réduits, le contrôle des pièces plus facile, ce qui entraîne des diminutions de coûts.

C'est ainsi que 4 000 hélicoptères Gazelle sont équipés de pales en fibres de verre/résine (SNIAS) et que le rotor principal de l'hélicoptère Ecureuil (SNIAS) est deux fois plus léger, coûte trois fois moins cher, comporte cinq fois moins de pièces et demande moins de maintenance que celui de l'Alouette.

Quant aux composites carbone/carbone, ils constituent, par exemple, le matériau de base des freins du Mirage 2000, apportant un potentiel d'atterrissage et une sécurité accrues.

L'industrie automobile

Le secteur automobile fait des efforts considérables de recherche sur les propriétés et la transformation des matériaux. Ses objectifs sont les suivants : économies de matières premières et d'énergie, sécurité et confort. Et l'on assiste là à un combat entre matériaux classiques et matériaux nouveaux au niveau des programmes d'allègement des véhicules destinés à remplacer les métaux ferreux par l'aluminium, les matériaux plastiques et, bien entendu, les composites.

Malgré l'adaptation des matériaux ferreux,

l'aluminium vient le remplacer progressivement pour certaines pièces (culasses, carters, échangeurs); le traitement de l'aluminium, par anodisation ou métallisation au plasma et laser, va aussi permettre la substitution à l'acier des pièces de freinage, transmission, etc.

L'allègement de l'automobile passe également par l'utilisation des matériaux plastiques avancés qui, de plus, présentent des avantages de résistance à la corrosion, des capacités d'insonorisation et d'absorption des chocs. Les poudres à mouler polyimides, dénommées Kinel, de Rhône-Poulenc, trouvent de nouvelles applications dans les roues de synchronisation des boîtes de vitesse pour véhicule lourd (RVI), ce qui diminue leur poids de 8,3 kg à 1,75 kg; les essais au banc en cours sont jugés satisfaisants.

Les matériaux composites à fibres de verre ont également fait leur apparition dans quelques domaines encore limités; pare-choc de R5, embase de siège de R9, éléments de carrosserie de la RODEO en polyuréthane — fibres de verre. Mais il est bien clair que de telles applications sont appelées à beaucoup se développer.

Par ailleurs, les constructeurs français s'intéressent à l'introduction d'éléments de céramiques dans les moteurs: Renault a déjà fait tourner un petit moteur Diesel au banc pendant un quart d'heure, ce qui s'avère être une performance intéressante et lui permet de se familiariser avec ce domaine prometteur (céramiques classiques ou renforcées).

Le secteur des véhicules automobiles reste donc un secteur dynamique et innovant en matière de matériaux; il est tout à fait probable que, malgré les contraintes de coût et de fabrication, il y aura là un marché considérable pour les matériaux classiques améliorés, ou pour les matériaux nouveaux.

Habitat

Mutatis mutandis, un raisonnement analogue pourrait être fait pour l'habitat, à l'amélioration duquel nous attachons une grande importance en France, surtout si l'on incorpore à l'habitat toutes les machines qui le rendent plus confortable, et qui vont des systèmes de chauffage aux machines à laver.

Énergie - Pétrole

Et, puisque nous parlons des systèmes de chauffage, nous ne pouvons manquer d'évoquer l'immense marché de la production et de l'utilisation de l'énergie.

Si l'on prend le domaine du pétrole, les exigences requises pour les matériaux sont, d'une part d'ordre économique (économies d'énergie), d'autre part d'ordre technique (augmentation des profondeurs d'eau du forage en mer, volonté d'accroître les performances et la fiabilité de structures de

plus en plus compliquées, importantes et coûteuses). Un autre exemple est celui des fours des raffineries de pétrole qui ont nécessité la mise au point d'aciers spéciaux trempés présentant un bon comportement au fluage à chaud, tels que la « manaurite » (mise au point par une société du Groupe Pompey).

Dans le domaine de l'off-shore, la technique de centrifugation des aciers, mise au point par Pont-à-Mousson, permet de fabriquer des tubes en acier d'une homogénéité et d'une propreté inclusionnelle remarquables; la mise au point de cette technique, utilisée de façon classique depuis longtemps pour la fonte, permet à présent de produire, à des coûts avantageux et dans des délais rapides, les tubes d'acier très peu fragiles et résistant bien à la corrosion, utilisés dans les gazéoducs et oléoducs sous-marins.

L'industrie pétrolière a également besoin d'un autre matériau traditionnel: le béton; le poids des structures off-shore est une difficulté que l'on s'efforce de résoudre en mettant au point des bétons légers (densité inférieure à 1,1), à base de schistes et d'argiles expansés; ce travail de recherche est réalisé conjointement par les bétonniers français, les pétroliers et les centres de recherche professionnels.

Puisque les matériaux composites ont déjà été cités ailleurs, notons ici leur utilisation pour l'off-shore pétrolier: la SNIAS fabrique des tubes d'injection d'eau et de boue en époxy-verre ou époxy-carbone, et des jonctions souples (rotules) en structures lamellaires métaux/caoutchouc synthétique présentant des caractéristiques d'élasticité excellentes.

De même, la Société Nationale des Poudres et des Explosifs (SNPE) fabrique des flotteurs de risers, domaine important pour l'off-shore; le matériau utilisé est un plastique renforcé par des billes creuses (de verre ou d'autres matériaux), et possède des qualités de robustesse, légèreté, solidité et résistance à la corrosion, remarquables.

Ouvrons d'ailleurs une parenthèse pour dire que, en raison même de ces qualités, les matériaux composites ont et auront de nombreuses applications dans les matériels marins: coques de bateau, et mêmes planches à voile pour les sportifs; peut-être verra-t-on bientôt également apparaître un engin de ramassage des nodules en matériaux composites (SNIAS/CNEXO).

Énergie - Électricité

Revenons au domaine de l'énergie et abordons le secteur électrique, qui revêt une importance toute particulière en France à cause de l'industrie de l'énergie nucléaire, pour laquelle une gamme immense de matériaux nouveaux a été mise au point. Les retombées de cette industrie dans le domaine des matériaux sont en conséquence importantes: calcul des

structures, techniques de mise en forme et de soudage, aciers spéciaux, matériaux résistants aux rayonnements; notons également, à propos de l'énergie nucléaire, le développement des recherches destinées à stocker l'énergie:

- soit dans des accumulateurs électriques, qui font l'objet actuellement de recherches actives (polymères et verres conducteurs, réalisation d'un polymère conducteur du type azote-soufre);
- soit sous forme d'hydrogène électrolytique, ce qui induit également de nombreuses recherches, par exemple sur les « éponges à hydrogène (hydrures métalliques).

Toujours dans le domaine de l'électricité, il faut parler ici de la cryoélectricité et des supra-conducteurs, qui sont des techniques et des matériaux propres à bouleverser la production d'électricité: un supra-conducteur, porté à très basse température (5 °K ou — 268 °C), a une résistance électrique quasiment nulle, et des propriétés magnétiques particulières. Ces matériaux vont ainsi, peut-être, permettre d'augmenter la puissance des alternateurs jusqu'à 5 000 MVA, et de diviser la masse des machines travaillant à puissance et vitesse égales par deux. Un rotor modèle est actuellement en essai pour étudier les problèmes de la mise à basse température de telles machines: l'état supra-conducteur a été obtenu sur un élément de 4 tonnes à 5 °K. Les supraconducteurs permettront, peut-être également, de réaliser des aimants créant les champs très intenses nécessaires à la fusion nucléaire. Ces deux programmes d'études montrent l'importance de ces matériaux et de leurs technologies d'utilisation. Alsthom-Atlantique étudie actuellement certains d'entre eux (brins niobium-titane).

On pourrait, comme nous l'avons dit, citer bien d'autres secteurs industriels pour lesquels le progrès des matériaux est essentiel: celui des communications avec les fibres optiques, celui du biomédical où il faut signaler l'apparition de matériaux sophistiqués, tels que valvules cardiaques en graphite polycristallin, et la prothèse du genou en carbone/carbone. Ce dernier matériau est aussi du domaine des composites qui, comme on vient de le voir, envahissent tous les secteurs de l'industrie française, y compris du textile, qui utilise des lances de métier à tisser composites de SNPE. Elf Aquitaine prévoit d'ailleurs des collaborations avec le producteur de fibres japonais, Toray, et les industries de l'aérospatiale, pour développer ce secteur des matériaux composites.

La recherche en France

Pour résumer ce tour d'horizon rapide des matériaux présents dans l'industrie française, un chiffre global relevé dans une enquête récente montre que 2 millions d'emplois sont directement concernés par les problèmes de matériaux. La recherche correspondante, et les travaux de développement, sont assurés par des centres de recherche privés ainsi que dans les

laboratoires publics des Universités, du CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), et d'une trentaine de centres techniques. Les frontières entre la science des matériaux et les différentes disciplines scientifiques étant difficiles à préciser, il est également difficile de déterminer le nombre exact de chercheurs publics concernés par ce domaine : il est évalué à 4 000 personnes, ce qui représente un budget de 800 MF environ, auquel s'ajoutent les frais en équipements lourds qui ne sont pas imputés entièrement aux problèmes de matériaux.

C'est dans les laboratoires du CNRS ou de l'Université que se poursuivent les travaux de recherche de base. Les centres techniques sont, par vocation, les liens de transfert entre la recherche de base et l'industrie, au travers d'actions de formation ou de recherche.

Sans pouvoir les citer tous, soulignons quelques travaux de pointe des laboratoires français :

- dans la mise au point de verres spéciaux, verres fluorés pour la production de nouveaux lasers à Terres rares, et verres ultra-purs pour les fibres optiques, les laboratoires de CGE, Rhône-Poulenc et les laboratoires du CNRS étudient des méthodes de détection des impuretés par adsorption atomique sans flamme et la solidification des verres en milieu propre dans des creusets de silice purifiée (verres en oxyde de silicium/sodium/calcium ou silicium/bore/calcium);
- dans la métallurgie du titane destinée aux applications aéronautiques, les laboratoires du CEA ont mis au point une méthode de mise sous pression en caisson hyperbare pour éviter tout défaut de structure, et la SNIAS étudie la mise en forme des pièces de titane avec des outils en céramique chauffante;
- les conducteurs organiques, présentant un comportement quasi-métallique à température ambiante, font également l'objet d'études poussées dans les laboratoires du CNRS, à Orsay, et notamment le caractère anisotropique de l'empilement des cristaux et la stabilisation de l'état métallique à haute température par des sels ternaires;
- l'ultra-purification de produits chimiques variées par chromatographie est étudiée conjointement par l'École Polytechnique, Elf Aquitaine et Thomson, et a donné lieu récemment au lancement d'unités de purification de taille industrielle.

On pourrait également parler des travaux sur les polymères (polymères téléchéliques pour additifs, polymères greffés par radiochimie pour les lentilles cornéennes), des études sur le zircon, des applications

des micro-ondes pour la caractérisation des matériaux, etc..., mais la liste serait trop longue.

Indiquons que les choix de ces thèmes de recherche sont guidés, à la fois par l'évolution des connaissances scientifiques, et par celle des besoins de l'industrie.

Le Ministère de la Recherche et de la Technologie et le CNRS définissent de grandes orientations de recherche en allouant des aides financières d'incitation aux équipes de recherche publiques ou privées.

Pour que l'ensemble de ce système fonctionne bien, notamment dans le cas des matériaux, qui est un domaine complexe, nous avons en France cherché à :

- décloisonner les secteurs scientifiques en lançant des programmes d'action pluridisciplinaires, tels que le PIRMAT (Programme Interdisciplinaire de Recherche sur les Matériaux);
- accroître les échanges entre industries de pointe et industries de grande consommation, petites entreprises et grands groupes industriels;
- maintenir une large ouverture avec l'étranger et une collaboration avec la recherche internationale. Et, c'est pourquoi nous serions favorables à une intensification des échanges scientifiques avec votre pays, notamment dans le domaine des technologies de mise en œuvre des matériaux, que nous allons aborder en guise de conclusion.

Mise en œuvre des matériaux

Comme le montre l'exemple des verres métalliques, dont je dirai un mot maintenant, l'importance des technologies liées aux matériaux est primordiale. En effet, pour produire ces métaux amorphes aux qualités mécaniques et magnétiques remarquables, il faut tremper le métal liquide avec une extrême rapidité.

Il faut donc mettre ces procédés au point si l'on veut avoir accès aux applications potentielles de ces verres métalliques : nouveaux transformateurs électriques, blindages magnétiques, transformateurs impulsifs.

Dans le domaine de l'aluminium, qui est soumis à la concurrence des autres métaux, la compétitivité économique des procédés de production de l'alumine et des procédés d'électrolyse est de première importance; c'est actuellement ce que réalise PUK au niveau mondial.

Ces exemples montrent bien que l'une des difficultés auxquelles se heurte l'industriali-

sation d'un matériau nouveau est de trouver le procédé correspondant satisfaisant à la fois au plan du coût et au plan de la qualité. C'est ainsi que les technologies de métallurgie des poudres, qui ont pu percer pour les aubes de turbines à gaz, n'ont pu le faire dans l'électroménager, malgré leurs performances techniques. Quant au problème de la qualité, soulignons ici que, pour la plupart des nouveaux matériaux, nous connaissons mal leur évolution dans le temps, ni leurs « maladies », en raison de leur découverte récente; l'ancienneté de l'expérience des laboratoires est importante, et la confrontation des expériences permet d'éviter les aléas.

On doit souligner d'ailleurs que l'innovation en matière de matériaux ne revient pas à un échange pur et simple de la pièce en matériau traditionnel par la pièce en matériau nouveau. Il faut repenser le système en fonction du matériau, simplifier le dessin des pièces, réduire leur nombre, ce qui exige une bonne connaissance du système, et donc de gros efforts de modélisation : ceux-ci peuvent être réalisés grâce à l'écriture de codes performants et à l'utilisation d'ordinateurs puissants. Ceci pourrait également donner lieu à une coopération fructueuse entre nos deux pays.

Il est bien évident, enfin, que le souci de la qualité apparaît au premier plan dans cette mise en œuvre des matériaux, et que la mise en commun de nos connaissances fondamentales et de la perfection de gestion atteinte par les Japonais en la matière pourraient donner des avantages satisfaisants pour les deux parties.

Cet équilibre des apports possibles de nos pays doit être un élément essentiel de nos collaborations éventuelles. Si, comme je viens de le dire, nos amis Japonais ont parfaitement maîtrisé le domaine essentiel de la gestion de qualité, il serait insuffisant de croire que les Français ne peuvent apporter que leur marché ! Notre recherche fondamentale, en particulier, puissante, bien dotée et bien structurée, une industrie dynamique (dont on a souligné par ailleurs les succès en matière d'énergie nucléaire, d'aéronautique ou de pétrole), peuvent nous permettre d'apporter des cartes très importantes dans le grand jeu des matériaux nouveaux qui va se dérouler dans le monde.

Et je suis convaincu que, dans ce domaine comme dans d'autres, des opérations industrielles communes seraient le meilleur moyen de profiter de manière équilibrée des avantages que nous pouvons apporter les uns et les autres.