

Electricité et processus industriels

Robert Chauprade

DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL DES PROCESSUS A BASE D'ÉLECTRICITÉ

FAVORISER la pénétration de l'électricité est une impérieuse nécessité, reconnue, il est vrai, depuis quelques années déjà. Cette volonté politique ne saurait être, sans les mérites incomparables de l'électricité, ce vecteur énergétique universel permettant de transformer toutes sortes d'énergies primaires en l'énergie utile dont on a besoin. On constate effectivement une progression sensible de la consommation qui passera de 170 TWh en 1975 à plus de 260 TWh en 1983.

Voyons comment le monde industriel vit cette évolution et les actions menées pour le développement et la diffusion de processus à base d'électricité.

Il est coutume aujourd'hui de parler *d'usages spécifiques et d'applications concurrentielles*. Dans le spécifique, on classe notamment la force motrice et, dans le concurrentiel, les applications nouvelles de l'électricité où on trouve essentiellement la chaleur.

L'ENJEU DE LA FORCE MOTRICE ÉLECTRIQUE

Le plus gros consommateur d'électricité est la force motrice dont l'enjeu est appréciable, comme nous allons le voir.

L'électricité a amené une mutation profonde dans la conception de la force motrice et il ne fait pas de doute que son développement s'appuie sur l'omniprésence du réseau électrique. Mais l'électricité apporte à la force motrice non seulement la puissance, mais aussi, et de plus en plus, le moyen de contrôler, d'optimiser, d'automatiser la fonction dans laquelle intervient cette force motrice ; c'est en somme le fluide qui irrigue à la fois les muscles et le cerveau des systèmes modernes.

La force motrice électrique se caractérise tout particulièrement par sa grande souplesse, son rendement énergétique très élevé, sa grande disponibilité avec une maintenance peu contraignante, son adaptation à l'environnement et son absence de pollution pour l'utilisateur.

De 1975 à 1982, la consommation d'électricité à usage de la force motrice est passée, en chiffres ronds, de 80 à 115 TWh, soit une progression légèrement supérieure à 5 % l'an en moyenne. Tous secteurs confondus, la force motrice électrique représente près de la moitié de la consommation totale d'électricité de la nation, cependant qu'elle dépasse 60 % dans l'industrie et 80 % dans les transports ferroviaires. Mais chacun de nous le constate, la force motrice est également de plus en plus présente dans le secteur résidentiel où elle atteint 25 % de la consommation d'électricité de ce secteur. C'est dire que le sujet est vaste : de l'appareil ménager aux gros systèmes industriels en saisissant au passage le TGV.

Quels sont les grands éléments favorables à la pénétration de la force motrice électrique ?

Les crises pétrolières ont remis en cause le bilan énergéto-économique de nombreux processus industriels et autres grands systèmes, favorisant ainsi le choix de l'électricité. La compétition internationale implique une plus grande performance de l'outil de travail obtenue le plus souvent par des servomécanismes automatisés allant jusqu'à la robotisation. L'évolution du bien-être à domicile et la simplification de tâches ménagères introduisent un ensemble d'appareils de plus en plus motorisés et automatisés qui préfigurent les robots de demain.

La nouvelle électrification contribue donc à développer les applications de la force motrice partout où l'électricité peut se substituer aux énergies fossiles. On pourrait là citer deux exemples. Le plus spectaculaire est sans doute celui du TGV, nul besoin de rappeler que le prototype 001 était équipé de turbines, fort heureusement les responsables de la SNCF furent bien inspirés en choisissant une motorisation électrique.

Dans sa phase actuelle d'exploitation, sur la nouvelle ligne, le « système de transport TGV » consomme 16,25 kWh/km/rame et parcourt 1 000 000 km/mois, ce qui nous donne 16,25 millions de kilowattheures par mois, pour tenir compte des parcours sur voies anciennes, nous arrondirons à 20 millions de kilowattheures par mois, soit une consommation annuelle de 240 millions de kilowattheures (0,24 TWh). En supposant une rame à turbines capable d'assurer les mêmes performances que la rame électrique, la consommation annuelle eut été de l'ordre de cent millions de litres de fuel lourd.

Une autre orientation intéressante concerne le remplacement des turbines industrielles à gaz ou à vapeur ; à titre d'exemple de réalisation, nous citerons un vapocraqueur de 200 000 t/an d'éthylène et tous les sous-produits associés, sur lequel les deux turbines à vapeur d'entraînement des compres-

seurs de gaz craqué ont été remplacées par deux entraînements électriques à vitesse variable de 12 et 14 MW avec des moteurs synchrones à grande vitesse, installés en lieu et place des turbines à vapeur.

Ce bilan économique, qui emporta la décision, donnait la solution vapeur à 480 F le mégawattheure alors que l'électricité arrivait à 230 F, soit pour un fonctionnement de 8 200 h à la puissance moyenne de 21 MW pour les deux entraînements, une économie annuelle de 43 millions de francs et une substitution électricité/pétrole de 38 000 tep. Une extrapolation sans doute rapide, mais néanmoins réaliste, permet de dire qu'en remplaçant le cinquième du parc des turbines industrielles, estimé à plus de 5 GW (hors production d'énergie), la substitution serait de l'ordre de 2 millions de tonnes d'équivalent pétrole (tep).

Après une phase de réduction du gaspillage, les économies d'énergie commencent à se traduire par des choix technologiques d'investissements différents, c'est ainsi que bien des industries utilisant pour leur processus une force motrice à vitesse fixe découvrent aujourd'hui les vertus de la vitesse variable. De nouvelles solutions sont nées des progrès de l'électronique de puissance, notamment les entraînements à fréquence variable particulièrement appréciés pour l'entraînement des turbomachines de toutes puissances. Une étude présentée à un colloque européen organisé par notre association, et intitulé *Au carrefour de la force motrice*, montrait que l'on pourrait, au niveau de notre industrie nationale, économiser plus d'un million de tonnes d'équivalent pétrole (en plus du remplacement des turbines déjà citées). Il faut ajouter que ces entraînements disposant de régulations précises permettent, dans bien des cas, de réaliser également une économie d'énergie et de matière dans les processus. Cet effet de levier est parfois spectaculaire, c'est ainsi que des aérorefrigérants à vitesse variable électronique de quelques dizaines de kilowatts permettent d'optimiser la température des gaz à l'entrée du compresseur de synthèse et d'économiser ainsi des centaines de tonnes d'équivalent pétrole. On pourrait aujourd'hui citer des milliers d'exemples montrant que le temps de retour de l'investissement, nécessaire à réaliser ces économies d'énergie, va de quelques mois à quelques années. De nombreux industriels l'ont compris, mais il reste encore beaucoup à faire dans tous les domaines. Electricité de France montre l'exemple en utilisant des entraînements à vitesse variable pour les ventilateurs de chaudières des centrales thermiques : « Il n'y a pas de petites économies. »

La force motrice n'est pas seulement un enjeu énergétique, c'est aussi un enjeu économique, social et scientifique.

La construction électrique française produit chaque année près de 10 millions de moteurs électriques, cela représente une puissance de l'ordre de 7 millions de kilowatts (7 GW) et un chiffre d'affaires de près de 3 milliards de francs. Mais, nous le savons, la force motrice moderne, ce n'est pas seulement les moteurs électriques, c'est aussi des équipements de contrôle commande et de plus en plus des convertisseurs qui permettent d'ajuster vitesse et couple pour un besoin optimal de puissance, c'est enfin des automatismes capables de gouverner, à travers cette force motrice docile, les processus les plus complexes dans les meilleures conditions de coûts et de qualité.

La force motrice électrique, c'est donc toute une profession qui, évoluant dans des technologies modernes, constitue l'un des points forts de l'industrie française ; il faut au moins doubler le chiffre d'affaires des moteurs pour avoir une idée de l'activité force motrice.

Incorporée dans des produits finis et des systèmes complexes à près de 50 %, cette activité est exportée à travers le

monde, et parfois en position de leader, c'est le cas de la traction électrique, pour citer un exemple.

De la même manière qu'elle induit une activité d'équipements et d'ensembles électriques, la force motrice préside au développement des semi-conducteurs de puissance et constitue un effet d'entraînement pour la micro-électronique.

La force motrice électrique, à travers ses originalités et ses vertus croissantes, constitue l'un des pôles les plus importants de la recherche appliquée, et c'est peut-être le domaine où il y a le plus de synergie entre l'industrie et l'université, notamment dans la recherche de nouvelles machines et des convertisseurs électroniques associés.

De nouveaux systèmes d'entraînements apparaissent ; leur conception est telle que le réseau devient une source d'alimentation sans contrainte de démarrage, de choix de vitesse, de creux de tension, d'environnement...

Les moteurs à courant alternatif viennent remplacer les moteurs à courant continu auxquels on ne peut reprocher que le collecteur, source d'entretien ou contrainte d'environnement, en apportant souvent des avantages considérables ; ainsi le moteur synchrone autopiloté a donné à la SNCF une locomotive universelle capable tout aussi bien de tracter des trains voyageurs rapides que des trains lourds de marchandises.

Il ne fait nul doute que la France, par sa politique énergétique, la clairvoyance de son industrie et la capacité de sa recherche, a su faire de la force motrice électrique un atout économique majeur. Il serait donc grave que, considérée *usage spécifique, la force motrice* ne reçoive pas dans cette vaste opération de *nouvelles électrifications* toute l'attention qu'elle mérite.

LES APPLICATIONS CONCURRENTIELLES

Voyons maintenant les actions menées par les industriels pour le développement et la diffusion des autres processus industriels à base d'électricité. C'est sans aucun doute dans ces processus, jusque-là moins spécifiques de l'électricité et utilisateurs de combustibles autres, que le développement de la consommation d'électricité sera le plus sensible. Si l'on en croit les augures, ce développement atteindrait une trentaine de térawatts d'ici à 1990. L'objectif très volontariste de certains responsables d'EDF serait plutôt de 40 térawatts.

Voyons comment se situent, très brièvement, les principales techniques dans cette prévision de croissance. L'effet joule, les fours à résistances trouvent des applications très importantes dans le domaine des traitements thermiques en général et du perfectionnement des aciers. L'induction est une technique utilisée depuis longtemps déjà et connaît, dans ce nouveau contexte énergétique, un développement également très important.

Des orientations plus récentes vont vers les fours à arcs à courant continu et les torches à plasma. Les fours à arcs à courant continu permettraient de recycler à bon compte l'acier abondamment utilisé durant ces deux dernières décennies pour des produits à grande diffusion et à durée de vie limitée, tels que les voitures automobiles par exemple.

Il est probable que les torches à plasma prendront une part sensible de cette croissance. En effet, les plasmas thermiques permettent de dégager des quantités énormes de chaleur à des températures inhabituelles (5 000 à 10 000°) et ceci dans un espace très réduit avec une grande précision. De plus, le milieu très particulier du plasma, où la matière est un pur mélange de gaz ionisés, permet de réaliser de nouveaux processus chimiques et métallurgiques.

Quant aux plasmas, dits basse pression, ils sont eux aussi produits par des procédés purement électriques et leurs applications pourraient se développer de façon remarquable dans l'élaboration de matériaux très purs, le silicium par exemple, dans les revêtements ultradurs, tels que nitrure de titane, par exemple, ou encore dans la fabrication de poudre dont la finesse recherchée n'est pas accessible par d'autres procédés.

Pompes à chaleur et recompression de vapeur, bien qu'entrant dans la phase industrielle, nous promettent un développement intéressant ; il faut remarquer le développement rapide des pompes à chaleur industrielles et domestiques : environ 100 000 exemplaires sont aujourd'hui installés et représentent une économie de 120 000 tonnes d'équivalent pétrole. Enfin tout un ensemble de techniques et d'équipements basés sur l'utilisation de radiofréquence, de rayonnement, de membranes, est en train d'entrer dans un certain nombre d'industries de transformation et notamment l'agro-alimentaire. Il s'agit là d'équipements de faibles ou moyennes puissances qui doivent donc connaître une large diffusion pour être sensibles sur la consommation. Il faut parler également de biénergie, d'amélioration par dopage de flamme. Le mariage flamme-électricité, l'électrobrûleur constituent un noyau d'applications où il est facile, en faisant appel à des techniques classiques et avec un minimum de régulation et d'automatismes, de transformer des installations existantes à un coût modéré.

Il fallait d'abord, et ce fut fait notamment par EDF, conduire des études et des recherches pour apporter tous les éléments techniques et économiques permettant d'envisager la substitution de l'électricité aux hydrocarbures.

Les bouleversements qu'entraîne l'introduction de l'électricité dans ces nouvelles applications sont considérables. Les procédés industriels, eux-mêmes, doivent être profondément modifiés et souvent totalement repensés et reconçus. Le changement est profond dans les méthodes d'exploitation ; la formation même du personnel de production et de maintenance est à adapter. Enfin l'industrie des équipements d'électrothermie est à développer, pour ne pas dire à créer, du fait du bouleversement technique et technologique.

Sous l'impulsion des pouvoirs publics et d'EDF, une véritable campagne d'informations s'est déroulée. Le Comité français d'électrothermie s'est totalement engagé dans la bataille pour promouvoir les solutions électriques. L'enjeu est appréciable.

Le chiffre d'affaires en électrothermie était en 1981 d'environ 1 200 MF, matériels sortis d'usine ; il convient de l'augmenter sensiblement pour tenir compte de l'installation. La partie électrique représente en moyenne 40 % de l'équipement électrothermique, soit un chiffre d'affaires, matériels seuls, de 500 MF. Toutefois la panoplie de ces techniques est large et diffuse, des dizaines d'entreprises se partagent ce chiffre d'affaires. Ajoutons à cela que, dans bien des cas, les machines utilisant ces nouvelles techniques sont de fabrication étrangère, d'où les difficultés pour l'électricien français de rentrer sur ce marché, et ces deux raisons au moins expliquent une relative prudence. Il faudrait donc à la fois une croissance importante dans l'utilisation de ces nouvelles techniques et des ressources financières adéquates pour que notre industrie renforce sa position sur ce créneau de l'électrothermie.

Deux informations importantes ont retenu notre attention ces derniers temps. Selon une déclaration récente, EDF devrait consacrer un milliard de francs en 1984 pour renforcer la pénétration de l'électricité dans le secteur industriel. Un tel support devrait être de nature à accélérer le développement des équipements électriques. Parmi les trois actions qui seront entreprises

dans le budget 84 de la Recherche et de l'Industrie, on trouve l'innovation et l'émergence de techniques nouvelles.

La position des constructeurs français est inégale. Elle est potentiellement forte dans les équipements de puissance, notamment pour l'alimentation de fours à résistances ou à arcs, d'inducteurs, de torches à plasma et leur contrôle commande... partout où l'électronique de puissance et les automatismes sont présents. Ceci s'explique par la position en pointe de la France dans ces disciplines.

Pour ces dernières techniques, grosses consommatrices d'électricité, si nous exceptons l'induction, nous en sommes à la phase des pilotes industriels et à l'heure des grandes orientations, mais les décisions se font trop attendre. Pourtant, rarement, la mobilisation a été aussi grande pour promouvoir des techniques nouvelles ; tous les partenaires publics : MRI, ANVAR, AFME, EDF, sont d'accord sur l'incitation et la promotion, mais a-t-on suffisamment investi pour que la machine industrielle s'ébranle ? La recherche est active et les relations entre les laboratoires d'EDF, de l'université et de l'industrie, sont bonnes et fructueuses. Certaines rencontres sont particulièrement positives, ainsi pour les torches à plasma par exemple, les recherches effectuées par l'industrie aéronautique atterrissent chez un industriel entreprenant qui, s'appuyant ici sur l'IRSID, là sur un autre vecteur, assure la promotion vers les différents domaines d'application.

Nous voudrions, en conclusion, souligner l'urgence de mettre en application, à l'échelle industrielle, l'ensemble des techniques jugées à la fois performantes et compétitives, au risque de voir s'affaiblir la position d'avant-garde d'Electricité de France dans ces domaines, remarquée sur le continent américain au colloque international *Technologies électriques dans l'industrie* tenu à Montréal en 1982.

IMPACT DES PROCESSUS ÉLECTRIQUES MODERNES SUR L'ORGANISATION DES USINES ET LES CONDITIONS DE TRAVAIL

LES systèmes électriques modernes réussiront-ils ce grand dessein « rendre le travail à la fois productif et agréable à l'homme » ?

Peter F. Drucker écrivait en 1973 dans son ouvrage, *la Nouvelle Pratique de la direction des entreprises* : « Ce qui est nécessaire pour rendre le travail productif est très différent de ce qu'il faut pour permettre au travailleur de se réaliser. Il faut donc diriger ce dernier en fonction, à la fois, de la logique du travail et de la dynamique de l'action de travailler. La satisfaction personnelle, sans la contrepartie d'un travail productif, serait un échec, tout comme un travail productif qui détruirait tout sentiment d'accomplissement chez le travailleur. Aucune de ces propositions n'est supportable pendant longtemps. »

Selon une enquête de l'INSEE, les conditions de travail n'auraient pas évolué aussi vite que l'amélioration du niveau de vie des Français, ce qui expliquerait en partie la désaffection à l'égard du travail manuel.

Il ne fait pas de doute que ces nouveaux processus électriques contribuent à requalifier les emplois et suscitent un regain d'intérêt pour le travail en usine. Cette ouverture à l'innovation sociale, déjà réelle pour l'électricité et l'électronique, est aujourd'hui renforcée par les automatismes omniprésents dans ces processus.

Si nous faisons une approche systémique des installations industrielles complexes, nous constatons, dans la plupart des cas, qu'il s'agit de transformations, de traitements de matières ou de produits, nécessitant de la chaleur et de la force motrice ainsi qu'une structure d'informations traitées de plus en plus en informatique pour la conduite du processus considéré.

L'utilisation de l'électricité comme vecteur d'énergie et d'informations permet de concevoir un système fortement intégré et totalement cohérent, assurant la maîtrise des flux de matières et d'informations, dans lequel l'optimisation de tous les paramètres devient, sans aucun doute, plus facile qu'avec des sources d'énergie diverses et dispersées, parfois difficiles à manipuler dans des temps courts.

Les technologies électriques permettent de bâtir à la carte des processus produisant *force et chaleur* en utilisant l'énergie électrique de manière traditionnelle avec souplesse, précision et économie. Les opérations thermiques intégrant l'électricité ne provoquent pas de rejet sur l'environnement et réduisent sensiblement les déperditions thermiques, d'où une nette amélioration des conditions de travail sur les lieux mêmes des opérations, indépendamment de l'apport des automatismes.

Le rendement énergétique élevé des procédés électriques permet une économie d'énergie. Les technologies mises en œuvre demandent généralement peu ou pas d'entretien. Enfin, automatismes et régulations permettent d'accroître les cadences, d'éviter d'exposer des opérateurs à des tâches difficiles ou dangereuses et d'améliorer la qualité.

Dans cette approche systémique moderne, le rôle de l'homme, de l'opérateur, est pris en compte dès l'analyse fonctionnelle jusques et y compris, ses conditions de travail qui, on le sait, s'améliorent et s'élèvent considérablement. Quittant des tâches manuelles trop souvent de routine, parfois dangereuses, et en tout cas peu confortables, l'opérateur se retrouve dans une salle de commande agréable, voire luxueuse, où il joue avec l'in-



Apprentissage sur machine automatique dans un centre de formation au Pays de Galles en 1980.

formatique.

Est-ce l'usine de demain et la productique dans la joie au travail ? Voyons quelques exemples qui en montrent le chemin.

LA FORCE MOTRICE MODERNE DANS UN TRAIN A FIL

Tout le monde a vu ces photos où un ouvrier prend avec une longue pince une barre d'acier rouge, à sa sortie d'un laminoir, la passe derrière son dos, la courbe, et la réintroduit dans la cage du laminoir d'à côté qui l'avale. C'est une boucleuse, l'ouvrier vit sa journée de travail à l'intérieur d'un cercle de feu. Cette technique a subsisté tant que l'on n'a pas su synchroniser les cages, on les mettait alors les unes au bout des autres sur une ligne. Dès que l'on a disposé d'électronique industrielle fiable, on a pu entraîner chaque cage par un moteur individuel à courant continu, régulé en vitesse, et mettre les cages les unes derrière les autres pour laminier le métal en continu. Le danger disparu, la vitesse du train a été augmentée et la production d'autant. Avec la vitesse, le pilotage d'ensemble par calculateur s'est imposé, les ouvriers ont quitté le plancher de laminage pour la cabine de commande climatisée, et si d'aventure le fil chauffé au rouge quitte la ligne de laminage, il n'atteindra plus personne. La précision du contrôle est telle que le fil sort désormais à 400 km/h, alors que, du temps des « boucleuses », il sortait 10 fois moins vite.

VULCANISATION EN CONTINU PAR MICRO-ONDES DE PROFILS EN CAOUTCHOUC EXTRUDÉS

Une boudineuse extrudeuse entraînée par moteur électrique forme le profil en caoutchouc qui entre dans le four à micro-ondes, la vulcanisation s'achève dans un four à résistances électriques. En fin de ligne, le profil est conditionné en bobines avec découpage automatique. Ce type de ligne automatisée, à vitesse variable, produit en continu, sans manutention pour reprise, des profils de caoutchouc d'homogénéité parfaite avec un environnement propre.

TRAITEMENTS THERMIQUES

Beaucoup de pièces mécaniques doivent recevoir un traitement thermique local, là où le frottement se produit. C'est le cas par exemple de bien des pièces de mécanique automobile, produites en grande série. L'induction apporte une solution technique économique et performante. Cette technologie permet d'organiser les opérations de traitement comme un véritable centre d'usinage. Les pièces froides arrivent en continu et traversent les inducteurs où toutes les opérations s'effectuent successivement, ou simultanément, et ressortent terminées et froides. Le processus est gouverné par un automatisme et le conducteur de la machine travaille dans des conditions de sécurité et de confort exceptionnelles. Là encore, la pollution a disparu.

UTILISATION DU PLASMA EN SIDÉRURGIE

La technologie plasma simplifie considérablement les usines de production d'acier et de ferro-alliages. Pour s'en convaincre, il suffit de comparer trois procédés : le procédé

conventionnel avec chaîne d'agglomération, haut fourneau, four à oxygène ; la réduction directe du minerai aggloméré dans un four à gaz, suivi d'un four à arcs ; et enfin transformation directe du minerai en acier dans un four à plasma. On imagine facilement l'impact d'un tel procédé sur l'organisation d'une aciérie : impact sur le génie civil, sur la consommation d'énergie et de matières, sur l'environnement et les conditions de travail. Toutes les opérations sont automatisées et leur contrôle centralisé ; quelques opérateurs devant de superbes écrans couleur dans une salle climatisée remplacent les dizaines de personnes qui effectuent, dans les solutions traditionnelles, des travaux pénibles et dangereux.

Les applications concurrentielles de l'électricité et de la force motrice moderne apportent des possibilités considérables pour la modernisation des outils de production dans tous les domaines de l'industrie. Ces techniques dotent les processus industriels de caractéristiques remarquables : souplesse, économie, performances, qualité, travail à flux continu ou discontinu, installation simplifiée, centralisée ou décentralisée, génie civil réduit, maintenance aisée, environnement sain, conditions de travail plus agréables... Il suffit pour s'en convaincre de regarder quelques résultats : ici des vitesses 10 fois plus grandes, là des temps de séchage 50 fois plus faibles, des coefficients de substitution de 3, 5, 10..., des économies d'énergie de 10, 20, 30 %, des temps de retour de quelques mois, au plus de quelques années...

Compte tenu de l'évolution des processus électriques et de leur technologie, l'ingénierie devra s'adapter pour prendre en compte ces moyens perfectionnés dans la conception de nouvelles usines ou ateliers. Parallèlement, de nouveaux concepts d'implantation de l'espace de production et d'architecture tiendront compte des nouvelles conditions de travail.

Ce thème *organisation et conditions de travail* est, nous le savons, de la plus haute importance pour la performance des usines. Pussions-nous, par l'utilisation répandue des technologies électriques, faire appel aux ressources intellectuelles des hommes et des femmes dans l'entreprise, ressources bien souvent encore mal utilisées et, ainsi, faire en sorte que les aspirations vers un enrichissement des tâches soient satisfaites. Un tel mouvement serait de nature à *renforcer la compétitivité des entreprises françaises* qui en ont aujourd'hui grand besoin.

L'AUTOMATISATION FACTEUR DE DÉVELOPPEMENT DE L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

L'ÉVOLUTION du besoin, poussée par la compétition internationale, induit une remise en cause de façon quasi permanente des produits de toutes natures, qu'il s'agisse de produits de consommation ou de biens d'équipement. Il devient, dès lors, nécessaire de maîtriser l'adaptation des produits au sens large, tout en minimisant les risques. Au-delà des progrès techniques et de la nécessité de fournir une technologie adaptée, il faut impérativement repenser, et ceci périodiquement, les processus et les moyens de conception et de production.

Les automatismes et l'informatique industrielle sont, à cet égard, des atouts majeurs dans cette remise en cause. Ils constituent, de par leurs capacités, leurs performances, leur relative intelligence, des moyens puissants capables de tendre tout à la fois vers un coût de conception et de production minimal en assurant la meilleure adéquation à la demande, ainsi qu'une réaction rapide à tous les niveaux.

CAO, CFAO, ateliers flexibles, robotique, ne sont pas seulement des moyens obligés par des productions de série, mais permettent d'entrer dans l'ère des matériaux et produits sur mesure à un coût compétitif.

Aux critères de performances et de souplesse des moyens modernes de transformation des matières, d'assemblage et de finition des produits, s'ajoutent, de plus en plus, ceux de qualité, de sécurité, d'économie, d'ergonomie, d'environnement et nous retrouvons les vertus de la force motrice électrique, de la chaleur électrique, en un mot de l'électricité.

Nous l'avons vu plus haut, processus électriques et automatismes se privilégient mutuellement, c'est un lieu commun de l'électron. Le développement des automatismes favorise donc celui de l'électricité.

Il est vrai que les automatismes contribuent à optimiser les processus industriels et à réduire la consommation d'énergie par unité de matières produites ou transformées; toutefois, ces mêmes automatismes permettent d'exploiter l'outil de production à sa capacité maximale avec une productivité accrue et un coût de production plus faible, ce qui doit permettre à l'entreprise d'augmenter sa part de marché; il en résulte une exploitation plus intense des installations industrielles et, par conséquent, un besoin plus grand en énergie.

Nous prenons quelques exemples pour illustrer notre propos.

L'intérêt premier de la biénergie est que chacune des formes d'énergie mises en œuvre est utilisée pour ce qu'elle fait le mieux. L'électricité, énergie souple, apporte toutes les possibilités de modulation de la production et de régulation précise des paramètres, c'est donc par excellence le meilleur vecteur énergétique, dès lors que l'on automatise. Dans de nombreuses industries où il faut moderniser des processus existants pour accroître la productivité et la qualité, la biénergie est une solution permettant ces améliorations sans remettre en cause les gros investissements de base utilisant la vapeur, le fuel ou le gaz. On ajoute alors l'électricité qui apporte le complément énergétique et l'automatisation souhaitée.

Dans un autre domaine, régulations électroniques et automatismes ont contribué à repousser les limites d'adhérence des engins de traction électrique et à augmenter les vitesses de pointe et les vitesses moyennes, en collant au plus près aux limitations

du parcours. Cette augmentation de la performance conduit naturellement à une consommation plus importante sur le réseau, c'est le cas par exemple des nouvelles locomotives à thyristors et des rames TGV. Le pilotage automatique des rames, dans les systèmes de transport à grande densité tels que le métro, permet une augmentation sensible du trafic qui appelle, bien entendu, une consommation accrue d'électricité.

Reprenons ici l'exemple du train à fil pour lequel nous l'avons vu, l'automatisation a permis de multiplier par dix la vitesse du produit, d'où une augmentation de la puissance dans un rapport voisin. Il en est de même pour un train à bandes et pour beaucoup d'autres installations de production en continu.

Prenons maintenant ces ateliers *tout électriques* où flexibilité et productivité s'allient à merveille : ateliers d'usinage, ateliers de traitements thermiques, où des pièces mécaniques subissent successivement ou simultanément des opérations d'usinage ou de traitements, sans que l'homme n'intervienne autrement que pour la maintenance. Une énergie électrique « intelligente » usine, traite, déplace sans relâche les pièces à des cadences dépassant de loin les possibilités des ateliers conventionnels où les machines-outils sont conduites et servies par les hommes. L'utilisation effective des machines passe alors de 75 à 80 % au lieu de 15 % en usinage traditionnel. Il est évident que ces ateliers ultramodernes appellent une consommation accrue sur le réseau électrique : alimentation de machines très rapides et très performantes, de chariots filo-guidés, de robots...

N'a-t-on pas lu dans l'*Usine nouvelle* du 24 novembre : « Les robots de demain, plus faciles à programmer, mobiles, équipés de logiciels, d'autodécision, vont révolutionner le monde de l'usine. »

Nous voyons déjà, notamment dans l'industrie automobile, des robots remplacer avantageusement des hommes dans des tâches peu nobles sur des lignes de peinture, d'assemblage par exemple.

Dans un robot, le rapport charge utile sur masse totale en mouvement est très faible, aujourd'hui inférieur à 5 %, ce qui veut dire que les robots consomment relativement beaucoup d'énergie pour effectuer le travail de l'homme.

D'après l'AFRI (Association française de robotique industrielle), très active dans le développement des robots en France, leur croissance dans les pays industrialisés serait de 30 à 35 % durant les prochaines années. La France, en retard dans ce domaine, devra faire un effort supplémentaire pour rejoindre le peloton de tête. Nous possédons aujourd'hui près de 1 500 robots (10 000 si l'on compte les manipulateurs). En supposant cet effort exceptionnel, il y aurait en France 15 000 robots en 1990. Si nous estimons la puissance d'un robot avec ses serviteurs (manipulateurs, chariots et autres éléments de robotique) à 15 kW et une durée de travail de 5 000 heures/an, la consommation électrique de ce parc dépasserait 1 TWh.

Ainsi, dès aujourd'hui, quelques réalisations de pointe, notamment dans l'industrie automobile, préfigurent les usines *tout électriques* de demain et il ne fait nul doute que ces voies et moyens nouveaux, capables de cadences et de performances très élevées, contribueront à l'accroissement de la consommation d'électricité dans l'industrie. Par ailleurs le développement du confort ménager appellera la diffusion de millions de petits robots qui contribueront également à la croissance des besoins en électricité.