

# Electricité et modes de production industriels

*Vue générale des secteurs d'applications possibles à court et moyen terme*

*Jean-Claude Lebreton*

**J**E commence cet exposé en brossant les contours et les grandes lignes de l'évolution du rôle de l'électricité dans le domaine industriel sur les proches décennies, évolution qui, bien entendu, implique l'évocation des considérables bouleversements, tant économiques que techniques sur lesquels elle repose et dont les dimensions ne sont pas toujours perçues à leur juste valeur.

Il ne s'agira pas d'une fresque historique ambitieuse, faute de disposer des données fiables dans le passé lointain, ni d'une projection futuriste de science-fiction sur le XXI<sup>e</sup> siècle.

Le décor et le cadre que je propose reposeront sur l'analyse des vingt dernières années et sur les perspectives que nous jugeons raisonnables d'envisager à Electricité de France partant d'aujourd'hui pour un horizon allant jusqu'en 1995.

Pour être clair, je suggère d'adopter comme définition du court au moyen terme les toutes prochaines années 85, puis la décennie suivant qui nous conduit au seuil des années 95.

Ce faisant, j'admets bien volontiers l'inévitable part d'arbitraire et de risques qu'amène une telle délimitation.

Même si, sur le plan de la production d'électricité et de l'origine de cette dernière, les jeux sont faits et les aléas ou incertitudes sont fort limités, force est bien d'admettre, avec modestie, qu'au niveau des modes de production industriels, bien des inconnues demeurent sans aller plus loin que 1990 et des surpri-

ses plus ou moins révolutionnaires sont loin d'être exclues tant dans le domaine des matériaux, de la mécanique, de la biochimie que celui de l'électronique.

C'est là le risque de toute réflexion prospective, mais c'est bien entendu aussi l'essentiel de son intérêt.

Mon propos s'articulera en trois volets. Une première partie sur le rôle de l'énergie et de l'électricité depuis 1960 dans les processus de production de l'énergie. Une deuxième partie sur les secteurs d'applications possibles de l'électricité, compte tenu de l'évolution des techniques et de la situation économique à court ou moyen terme. Enfin, et pour terminer, une esquisse des principaux déterminants qui conditionnent l'essor de l'électricité dans le contexte où il devra prendre place en France sur la période retenue.

Le rôle de l'énergie et de l'électricité dans les processus de production industrielle mérite un minimum de définitions, même si la classification qui en résulte comporte inéluctablement un caractère schématique et toujours discutable. L'énergie dont il est question est mise en œuvre soit directement à partir de combustibles solides, liquides ou gazeux, soit sous la forme élaborée que constitue l'électricité. L'utilisation de ces différentes formes ou sources d'énergie peut conduire à accomplir des fonctions indispensables aux processus de production. Nous distinguerons, par souci de simplicité, trois grandes catégories de fonctions qui constituent chacune le dénominateur commun de très nombreuses opérations de production :

- la fonction force motrice,
- la fonction production de chaleur,
- les fonctions spécifiques qui peuvent être particulières à chaque type ou forme d'énergie. Il s'agira de l'énergie matière première en chimie, par exemple à partir du pétrole ou du gaz, de l'éclairage et de l'électrolyse pour l'électricité.

Ces fonctions spécifiques sont donc captives d'une forme d'énergie, contrairement aux deux premières catégories de fonctions qui, elles, sont, dans une certaine mesure, substituables d'une forme d'énergie à une autre.

C'est totalement vrai pour la chaleur du moins dans une large gamme de température allant jusqu'à 2 000 à 3 000°. Au-delà, nous le verrons, le domaine des très hautes températures redevient captif de l'électricité mise en œuvre dans ces flammes électriques tout à fait particulières que constituent les jets de plasmas.

Pour la force motrice produite en usine et contrairement aux véhicules de transport, la technique et l'économie se sont conjuguées pour laisser à l'électricité les petites puissances et les vitesses moyennes, disons, pour simplifier, tout ce qui tourne à moins de 3 000 tours/minute et développe moins d'un mégawatt, alors que les grandes puissances et les très hautes vitesses ont été, jusqu'à un passé très récent, l'apanage des turbines à

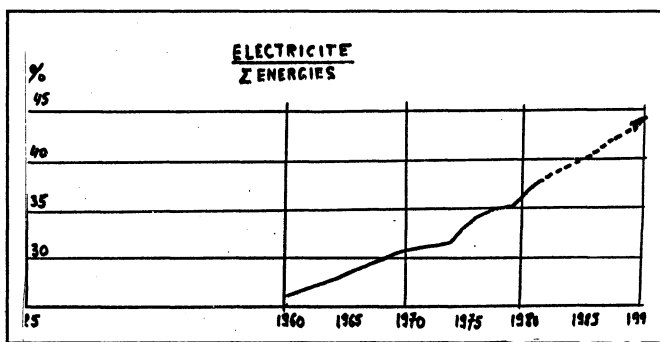


Figure 2.

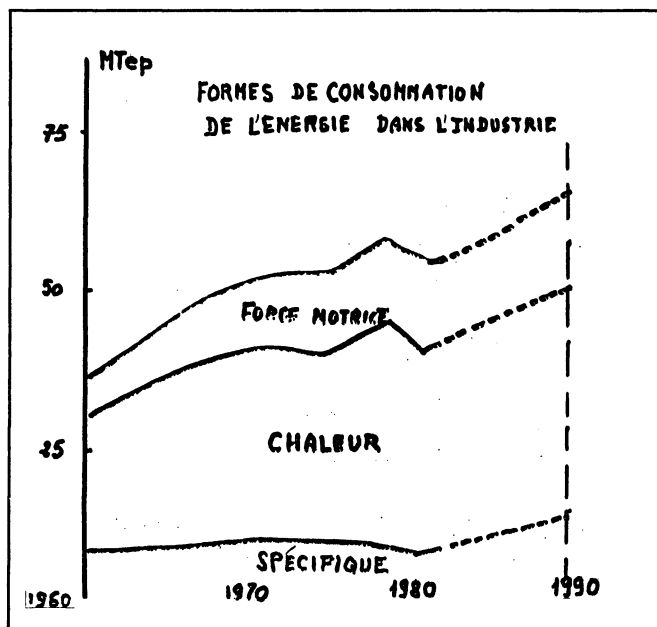


Figure 1.

TABLEAU I

%	1960	1967	1971	1975	1979	1981	1990
Force motrice	47	54,5	59,2	64	62,7	64,2	47,2
Electrothermie	20,5	19,6	18,3	17,9	17,4	17,6	39,3
Eclairage	3,5	3,4	3,6	3,8	5,9	6	6
Electrolyse	29	22,5	18,9	14,3	14	12,2	7,5

combustible ou à vapeur, cette dernière étant produite par un combustible.

Les parts respectives des trois catégories de fonctions sont restées assez stables depuis 1960 dans le total de l'énergie consommée par l'industrie. La force motrice et les fonctions spécifiques ont évolué en s'écartant d'un peu moins du quart du total, alors que la chaleur s'est tenue entre 50 et 60 % de ce même total (figure 1).

Quel a été jusqu'à présent le rôle de l'électricité dans ce cadre ? Constatons tout d'abord que l'électricité a très régulièrement augmenté sa contribution dans la consommation d'énergie de l'industrie depuis les années 60 où, il faut le dire, elle était tombée à un score assez bas de 25 %. Elle dépasse aujourd'hui 35 % et devrait atteindre 45, voire près de 50 % à l'horizon 90 (figure 2). Cette part croissante s'est partagée jusqu'à 1980 selon nos trois grandes fonctions, force motrice, électrothermie, usages spécifiques, au bénéfice croissant de la force motrice qui, de 47 % du total électrique en 1960, est à 64 % en 1981, l'électrothermie ne représentant que 18 % tout comme les usages spécifiques tels qu'éclairage et électrochimie. Le tableau I et la figure 2 illustrent ces évolutions sur la période 1960-1980.

Tout ceci nous amène donc au constat que l'électricité a augmenté sa part dans les modes de production industrielle essentiellement grâce à sa souplesse et au bon rapport qualité/prix des moteurs électriques durant ces vingt dernières années.

L'électrothermie a, certes, progressé, mais de façon moins spectaculaire. Sa place s'est faite, dans le traitement thermique par exemple, plus par suite de ses qualités spécifiques : précision, qualité des produits, absence de pollution, facilité de pilotage, que du fait de sa compétitivité économique.

Quant aux usages spécifiques autres que l'éclairage, c'est-à-dire l'électrometallurgie et l'électrochimie, ils ont connu des sorts variables selon l'existence d'une concurrence avec d'autres filières de production. Si ce ne fut pas le cas pour l'éclairage ou l'électrometallurgie, il faut constater que l'ère du pétrole pratiquement gratuit a bouleversé considérablement l'électrochimie des années 50 et même la force motrice pour les fortes puissances. Les turbines vinrent remplacer les moteurs électriques en chimie et, dans ce même secteur, l'acétylène, issue du carbure de calcium, le phosphore électrique et l'hydrogène furent évincés par le pétrole ou le gaz naturel.

Cette chute de l'électricité dans la chimie et dans certaines applications dites spécifiques fut brutalement interrompue avec les deux chocs pétroliers. L'avènement d'une nouvelle électricité d'origine nucléaire est parallèlement le facteur décisif d'une évolution possible qu'il convient maintenant d'analyser.

Quelles sont les raisons profondes d'une telle évolution et du changement de vitesse escompté dans l'électrification des processus industriels.

Elles sont multiples, mais nous nous limiterons à ce qui constitue, depuis les cinq ou dix dernières années, les deux révolutions les plus significatives qui, par leur conjugaison et leur synergie, vont créer les conditions d'une nouvelle ère pour les utilisations de l'électricité dans tous les secteurs, et particulièrement dans l'industrie.

Le premier facteur est l'accroissement considérable de la compétitivité de l'électricité par rapport aux autres formes d'énergie. De 6, le rapport brut du kilowattheure électrique industriel d'un usage uniforme et permanent sur l'année au kilowattheure équivalent de fioul lourd est tombé depuis 1973 à 3 en 1979, puis à moins de 2 aujourd'hui. Un pilotage plus fin du fonctionnement des installations électriques, quand il est possible, conduisant à éviter les pics ou les écueils des quelques jours les plus chargés en épousant au plus près les périodes de disponibilité du nucléaire, réduit encore ce rapport et amène le kilowattheure électrique dans les plages des 14 à 16 C, quand ce n'est pas carrément la chute à moins de 10 C sur les mois d'été.

Le second facteur résulte du progrès technologique fulgurant des applications de l'électricité sur la dernière décennie. Certes, il serait tentant de dire que ces fameuses techniques nouvelles, dont on parle tant, sont aussi vieilles que l'automobile. Héroult fit son premier four à arc industriel en 1899. Faraday, puis Foucault, en 1868, établissaient la théorie de l'inducteur et les premiers fours naissaient avec ce siècle. La pompe à chaleur installée à l'usine de Gardy à Chalon-sur-Saône remonte à 1948, la première recompression mécanique de vapeur fut suisse aux salines de Bex en 1875.

Il faut aller chercher le bombardement électronique, les plasmas et le laser pour remonter à la période récente des années 50 et 60 si capitale pour l'électronique. Alors, qu'y a-t-il de nouveau ? Réponse, tout. Les applications d'aujourd'hui n'ont pas plus à voir avec les premières références citées que la voiture de 1983 avec la De Dion-Bouton des années 1910.

Une véritable révolution silencieuse s'est accomplie en dix ans. Prenons trois exemples : le four à résistance d'aujourd'hui est une machine nerveuse à forte densité de puissance et souple à piloter par rapport à son ancêtre qui n'était comparativement qu'un système lourd et encombrant.

Trois raisons à cela. L'isolation thermique est passée, de la vulgaire brique, aux tuiles de la navette spatiales. Des fibres céramiques sont maintenant utilisées couramment et procurent un réfractaire léger sans inertie.

Des éléments chauffants pour les hautes températures

viennent de naître et laissent rêveur quant aux possibilités des nouveaux matériaux : un métal a été inventé, le super kanthal. Les cermet, éléments de céramique, sont apparus également pour les très hautes températures.

Troisième point, le contrôle commande du four est maintenant sous la coupe de l'électronique de puissance, la régulation est numérique et le pilotage résulte d'automate programmable. Rien de tout cela n'existait il y a dix ans.

Deuxième exemple, l'induction ; sa révolution tient aussi en trois mots : l'électronique de puissance pour les moyennes fréquences et bientôt pour les hautes fréquences, les nouveaux inducteurs en nappe ou multicouches, le couplage optimal par le contrôle numérique sur calculateur.

Troisième et dernier exemple, les moteurs électriques ; du moteur à cage limité en puissance et en vitesse, les nouveaux matériaux pour les rotors et l'électronique de puissance ont amené une nouvelle génération déplaçonnée en puissance et en vitesse avec des rendements et une flexibilité remarquables grâce à la variation de vitesse.

Voici donc résumés, en bref, par quelques images souhaitées frappantes, les éléments les plus moteurs de cette ère nouvelle de l'électrification des modes de production. Conjugaison et synergie d'une rupture économique et d'une rupture technologique grâce, il faut le dire, au mariage de l'électricité et de l'électronique de puissance, que ce soit pour la fonction force motrice ou pour la fonction production de chaleur. Dès aujourd'hui, les processus électriques doivent avoir une longueur d'avance grâce à leur pilotage de haute précision, leur automatisation, leur facilité ou l'absence d'entretien, leur économie en termes de pertes de matières et leur totale absence de pollution.

Il reste à préciser, au terme de cette seconde partie, ce que devraient être les fonctions préférentielles de développement des applications de l'électricité à court et moyen terme. Disons-le d'un mot : *la thermique, c'est-à-dire la production de chaleur*, même si la force motrice pour les grandes puissances doit également progresser et reprendre le terrain conquis par les turbines.

Les figures 3 et 4 valent plus qu'un long discours. Elles montrent que l'électrothermie verra sa part plus que doubler d'ici à 1990 et presque quadrupler en valeur absolue. C'est une révolution quantitative et qualitative. Il ne s'agira pas, en effet, d'une simple substitution à la flamme des combustibles classiques, mais d'une pénétration par les deux bouts dans l'échelle des températures : vers les basses températures, c'est-à-dire en dessous de 200°, l'électricité va bousculer les positions prises par les combustibles pour produire de la vapeur ou de l'eau chaude. Les pompes à chaleur, la recompression mécanique de vapeur, les générateurs électrothermiques vont apporter un nouveau service et une nouvelle maîtrise des fluides caloporteurs avec les qualités spécifiques de l'électricité et des mises en œuvre souvent multi-énergie. En 1990, les usages électriques basse température devraient avoir autant d'importance que les usages « flammes » allant de 300 à 1 500°.

Mais ce n'est pas tout, à l'autre extrême, au-delà de 1 500°, l'électricité peut accomplir une véritable percée avec les nouvelles techniques des jets de plasma et de l'électrobrûleur. Un jet de plasma issu d'une torche, ou plutôt d'une tuyère, pourra injecter 30 MW à travers un orifice de 10 cm de diamètre. Ultra-haute température et ultra-haute densité de puissance ouvrent des possibilités révolutionnaires en sidérurgie, en fusion de verre et en chimie.

Il reste à citer l'hydrogène, issue de l'électrolyse de l'eau, pour ne pas oublier que l'électricité dans la fonction énergie — matière première comme source d'hydrogène pour la chimie a

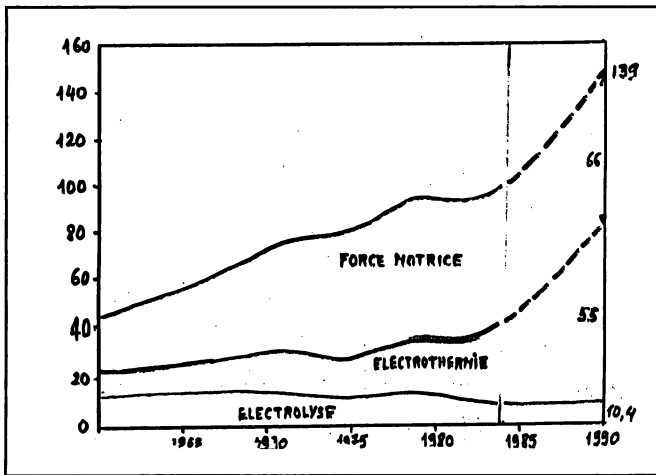


Figure 3.

une chance non négligeable de déboucher d'ici à 1995 par la production compétitive de l'ammoniaque, du méthanol et peut-être de l'acétylène.

Il me faut maintenant conclure ce bref exposé par les principaux déterminants de l'essor de l'électricité dans un contexte économique qui, pour notre industrie, a toute raison d'être durablement difficile : difficile par suite des mutations considérables et à faible constante de temps qu'impose une compétition internationale croissante, difficile par suite des contraintes sociales et économiques qui pèsent et pèseront sur les pays industrialisés et en particulier sur le nôtre.

Après un siècle d'électrification de tous les secteurs de l'activité économique et en particulier de l'industrie, selon des phases de forte croissance, puis des pauses dans cette évolution, nous sommes sans doute à l'aube d'une révolution qui consacrerait le deuxième siècle de l'avènement de l'électricité et le premier siècle d'un règne nouveau : celui de l'électronique. Nous l'avons vu, le retour en force de l'électricité dans l'industrie semble inéluctable par suite de la conjugaison et de l'effet de synergie de deux déterminants :

- l'accroissement considérable de la compétitivité de l'électricité, d'une part, avec l'essor d'une électricité nouvelle issue du nucléaire, du charbon et de l'hydraulique, face à des combustibles qui ont évolué et évolueront en coût selon une tendance, plus ou moins rapide et plus ou moins régulière ou irrégulière, mais qui laisse planer une incertitude limitée sur le point de sortie en 1995 ou en 2000 ;

- le progrès fulgurant de l'électronique et, en particulier, de l'électronique de puissance qui garantit une maîtrise et une flexibilité extraordinaires des phénomènes ou des applications mis en jeu par l'électricité.

L'essor de l'électricité dans les modes de production, principalement pour assurer la fonction production de chaleur, se fera par la mise en œuvre d'une panoplie très diversifiée de processus intégralement électriques ou, au contraire, polyénergies, les combustibles et l'électricité jouant ensemble, et de façon complémentaire ou alternative, une partition précise donnant à l'un ou l'autre le rôle du soliste ou du duettiste sous la baguette exigeante de l'électronique.

Une telle évolution implique une nouvelle identité industrielle pour surmonter les freins ou les forces de rappel qui sont autant de questions auxquelles la pertinence et l'efficacité des réponses seront déterminantes.

Le premier de ces freins, qui tend à rappeler le système

dans son état actuel, est le financement des investissements nécessaires et qui s'ajoutent à d'autres investissements dont la justification ne peut être mise en doute.

On peut dire globalement que le placement de 50 milliards de kilowattheures dans le secteur industriel d'ici à 1990 ne se fera pas sans un investissement voisin de 40 à 50 milliards de francs d'aujourd'hui. L'association des systèmes de financement aux produits et aux systèmes proposés par les constructeurs et installateurs est sans doute une des clefs de la réussite.

Le deuxième frein est la résistance à la mutation, c'est-à-dire à l'innovation des techniques qui se développent selon des courbes logistiques en S qu'il faut accélérer grâce à la multiplication des références et des imitateurs.

Le troisième frein tient dans la confiance en la sûreté des produits et de leur caractéristiques : sûreté sur les prix et leurs évolutions, sûreté sur la fiabilité des techniques d'utilisation de l'électricité et sur la qualité de l'électricité elle-même.

L'essor de l'électricité dans l'industrie implique de l'industrie dans son ensemble et d'EDF en particulier, une nouvelle approche que j'appellerai l'approche 3 S : 3 S comme Système, Service, Sûreté.

- Il faut des systèmes électriques performants et compétitifs, fruits de l'association du génie thermique, du génie mécanique et du génie électrique au sein des organismes prescripteurs ;

- il faut une industrie de services de la filière électrique garantissant au client industriel un service complet allant du diagnostic au dépannage ;

- il faut la confiance par la sûreté : sûreté des prix, des techniques et de la qualité de l'électricité.

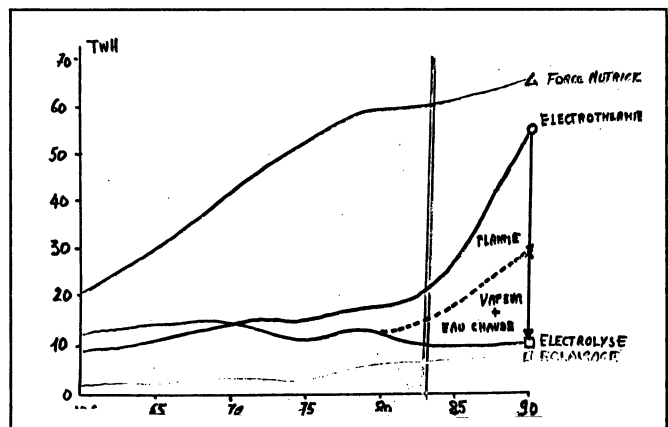


Figure 4.