



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

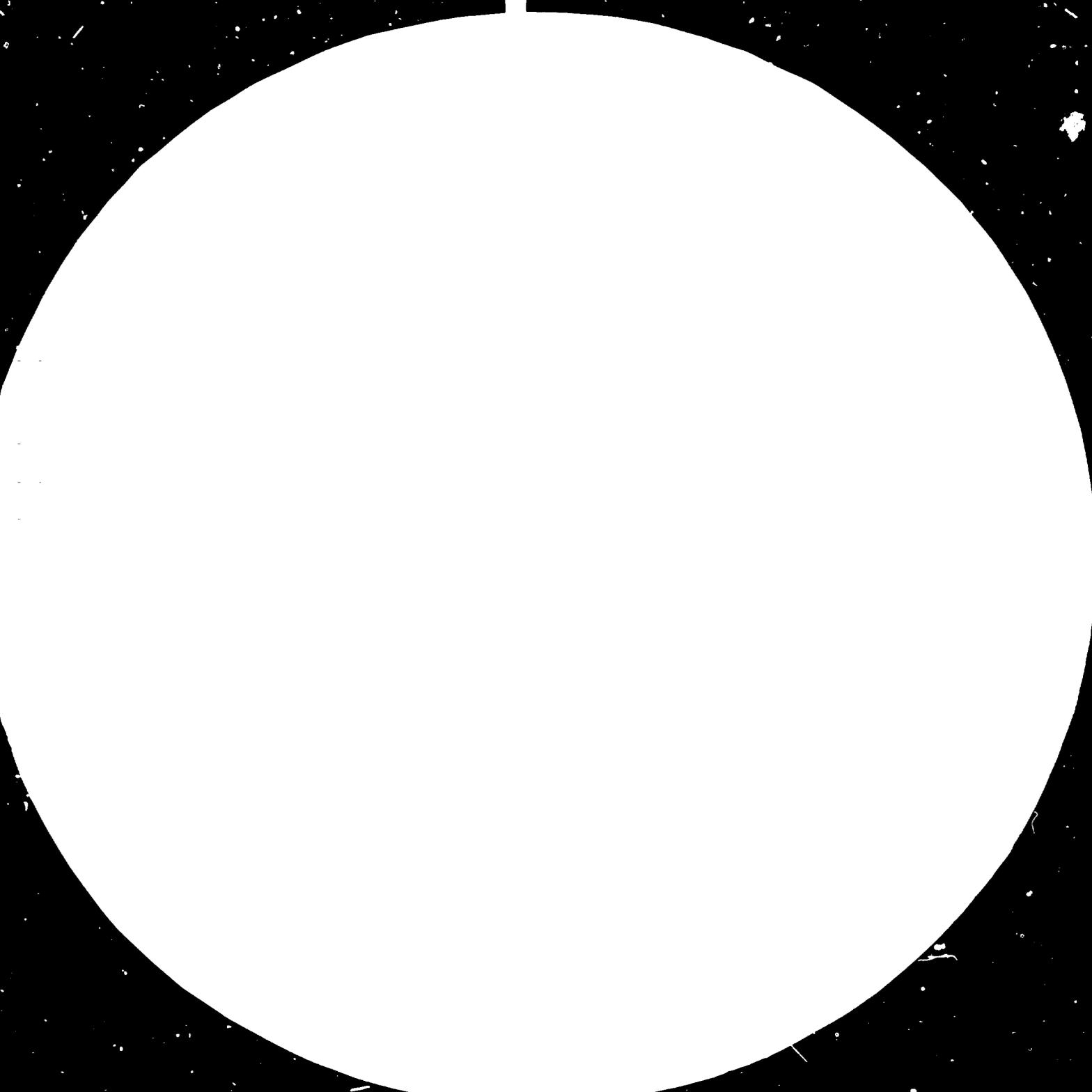
## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)





11659 - F

Distr. LIMITEE

UNIDO/IS.331  
22 juillet 1982

ORGANISATION DES NATIONS UNIES  
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

FRANCAIS  
Original : ANGLAIS

---

PERSPECTIVES D'APPLICATION DE LA MICRO-ELECTRONIQUE  
A LA MISE AU POINT DE PROCESSUS ET DE PRODUITS EN AFRIQUE\*

par

Michael Radnor\*\*  
Consultant de l'ONUUDI

3121

---

\* Les opinions exprimées dans le présent rapport sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles du Secrétariat de l'ONUUDI. Traduction d'un document n'ayant pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

\*\* Professeur et directeur, Center for the Interdisciplinary Study of Science and Technology Northwestern University, Evanston, Illinois, Etats-Unis.

V.82-29045

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
RESUME	3
I. L'ELECTRONIQUE EN AFRIQUE	6
II. LA REVOLUTION MICRO-ELECTRONIQUE	9
III. POSSIBILITES QU'OFFRENT LES MICROPRCESSEURS AUX PAYS AFRICAINS	15
IV. CONDITIONS NECESSAIRES POUR L'APPLICATION EN AFRIQUE DE LA TECHNOLOGIE DU MICROPROCESSEUR	22
V. METHODES D'APPLICATION	26
A. Methodes générales	26
B. Plans spécifiques	30
APPENDICE : APPLICATIONS DES MICROPROCESSEURS DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT	34
A. Commande et contrôle des processus industriels	34
B. Energie	34
C. Moyens de transport et produits	36
D. Produits utilisables dans les secteurs de l'agriculture, de la laiterie et du traitement des denrées alimentaires	36
E. Produits pouvant aider à améliorer la fourniture de services dans le domaine de l'hygiène et de la médecine	38

Nous remercions les ingénieurs consultants en applications des microprocesseurs du réseau de la Northwestern University et divers membres du personnel pour l'aide qu'ils nous ont apportée.

## RESUME

1. Le rôle de l'électronique pour le développement est déjà capital et les progrès de la micro-électronique, en particulier des microprocesseurs, rendent inévitable que l'Afrique soit impliquée dans la révolution micro-électronique. Un grand nombre des produits et des processus utilisés en Afrique comprendront, dans l'avenir, des microprocesseurs et il faudra que les Africains soient au moins capables de les utiliser et de les entretenir. De plus, les progrès récents des microprocesseurs ont donné à cette technique précisément les caractéristiques qu'il fallait pour qu'elle convienne aux pays en développement. Une microplaquette, ne coûtant que quelques dollars, a aujourd'hui la puissance de calcul d'un gros ordinateur, elle est bon marché et d'un usage facile, le personnel qualifié n'est plus guère nécessaire que pour établir le logiciel. L'utilisation des microprocesseurs est donc sans aucun doute à la portée des pays d'Afrique. Ces composants leur ont ouvert de vastes perspectives quant aux applications nécessaires qui pourront aider à résoudre un des problèmes les plus difficiles des économies des pays en développement, la pénurie de techniciens et d'analystes qualifiés de niveau moyen. En formant un personnel capable de déceler des applications et d'établir le logiciel nécessaire, les pays en développement peuvent obtenir un énorme effet multiplicateur dans le domaine des qualifications. Contrairement à certaines affirmations de la sagesse classique, les microprocesseurs peuvent être effectivement avantageux pour les pays africains en développement si l'on formule avec soin une stratégie.

2. Il peut être utile de concentrer les efforts sur les qualifications sans chercher à affronter la concurrence dans des secteurs plus anciens tels que la télévision, la radio ou les calculatrices, non plus que dans ceux qui sont dominés par des systèmes de production étroitement contrôlés et exigeant des capitaux importants, tels que les vidéocassettes.

3. En revanche, des appareils à microprocesseurs d'information, de commande et de contrôle, plus simples, ont diverses caractéristiques très souhaitables. On peut les fabriquer à bon marché, à la demande du client, à partir de composants normalisés de vente courante. Ils peuvent être très fiables, mieux résister à un environnement difficile et à un usage poussé, plus pratiques et plus petits. Ils sont plus faciles à mettre au point et à développer sous forme modulaire; ils supportent mieux des insuffisances concernant les autres systèmes, les qualifications et les matériaux. Ils facilitent le fonctionnement décentralisé à petite échelle. Il ne faut pas les confondre avec des systèmes plus complexes de

traitement de l'information comme, par exemple, les miniordinateurs, dont l'utilisation demande une qualification bien plus élevée. On ne doit pas perdre de vue un point essentiel : dans le microprocesseur, la technologie de pointe est celle du fabricant; l'utilisation n'exige qu'une qualification assez faible.

4. Il est essentiel que les pays africains acquièrent cette technologie à temps pour faire face à l'influence qu'exerceront, qu'on le veuille ou non, les produits importés. Plus importante encore est la possibilité de réguler les applications des microprocesseurs en Afrique et d'en tirer avantage pour réaliser des économies internes. On trouvera dans l'appendice au présent document plusieurs exemples frappants de produits que l'on peut fabriquer avec des microprocesseurs et qui peuvent avoir des conséquences spectaculaires dans des secteurs tels que l'industrie, l'énergie, les transports, la transformation de produits alimentaires, l'agriculture et la santé. Toutefois, ces applications suggérées, comme elles sont encore le reflet de l'expérience acquise dans les pays développés, égratignent à peine la surface des applications possibles pour l'Afrique de cette révolution électronique dans l'automation. En assimilant dès maintenant cette technologie avancée, mais d'une adoption facile, et en l'appliquant, les pays africains en développement pourraient, dans une certaine mesure, franchir d'un bond le fossé qui les sépare, sur le plan technologique, des pays développés et acquérir des positions favorables pour le monde futur de l'électronique.

5. L'adoption de la technique des microprocesseurs est assez bon marché. Le prix des microplaquettes et des autres composants continue à baisser et ceux dont ont besoin les pays en développement, ayant en général une mémoire de moindre capacité, coûtent moins cher. Le coût de l'assemblage sera moindre qu'avec des produits électroniques comparables n'employant pas les microprocesseurs et, pour des appareils relativement simples, le logiciel sera en général bon marché. Le coût de la formation de spécialistes capables d'établir des logiciels et de mettre au point des systèmes et celui de l'entretien et de l'utilisation ne sont pas prohibitifs; de plus, on assure ainsi, à long terme, une élévation des qualifications. Pour atteindre ce but, il faudra une infrastructure de formation et de communications.

6. Les méthodes recommandées pour faciliter, dans les pays africains, l'emploi des produits et des procédés fondés sur les microprocesseurs reposent principalement sur les désirs des utilisateurs, dont on doit définir avec soin les besoins et les pratiques courantes dans le cadre des applications existantes, pour passer ensuite à des domaines moins familiers. On partirait des institutions, des programmes et des spécialistes existant en Afrique, tout en prenant contact avec

les fournisseurs de la technologie adéquate et avec les fabricants des pays développés et des pays en développement, sous forme, éventuellement, de coentreprises. Les buts seraient de réaliser une capacité capable de se maintenir par elle-même grâce à la formation de formateurs, à l'accumulation d'expérience et de confiance chez les utilisateurs, obtenues par des applications modèles. Au cours d'une seconde phase d'accélération rapide, on ferait des efforts à grande échelle pour maintenir en temps voulu l'avantage acquis dans une technique à évolution rapide. Un calendrier en vue de l'atteinte de ces objectifs est suggéré.

## I. L'ELECTRONIQUE EN AFRIQUE

7. L'électronique, dont le rôle, déjà capital pour tous les aspects de la vie dans les pays développés, ne fait que croître, sera sans doute l'un des facteurs qui détermineront le rythme et la direction du développement en Afrique. Il est inévitable que ce développement entraîne une utilisation accrue des produits et des systèmes employant une électronique de haut niveau, dans l'industrie, les transports, la santé, l'agriculture, le village, le foyer et dans toutes les autres sphères d'activité sociale. Dans certains cas, on n'a pas le choix : les voitures, les machines-outils, les produits de consommation, les systèmes de traitement de l'information et bien d'autres choses que nous utilisons aujourd'hui font appel à l'électronique et la part de celle-ci augmentera encore dans l'avenir. L'emploi croissant de ces produits, procédés et systèmes exige que les pays d'Afrique puissent être complètement maîtres de la façon dont ils sont mis au point ou choisis et puissent en assurer une utilisation et un entretien corrects. Pour cela, il faut créer un personnel qualifié et une infrastructure.

8. En outre, l'application de la micro-électronique avancée permettra un développement autonome bien plus poussé. On disposera de produits et de procédés nouveaux ou améliorés pour mieux utiliser des ressources rares comme le capital, l'énergie, les matières premières et le personnel hautement qualifié, si essentielles pour l'industrie, les transports, l'agriculture et d'autres secteurs clés. Le plus, les pays africains pourront peut-être entamer une production dans de nouveaux domaines techniques et/ou à petite échelle grâce à la micro-électronique qui permet une meilleure commande et une meilleure optimisation des processus, une mise en route et un passage à un autre processus plus rapides, la fabrication de petites séries devenant rentable.

9. Dans les pays plus développés, et même dans certains des pays nouvellement industrialisés d'Asie du Sud-Est et d'Amérique latine, l'aptitude à utiliser cette révolution électronique s'est développée sur la base d'une tradition de fabrication et d'emploi d'appareils électroniques remontant à plusieurs décennies. La situation technologique de l'Afrique dans ce domaine est bien moins favorable, alors qu'une enquête récente de la Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique sur l'électronique dans l'Asie du Sud-Est a mis en évidence une capacité croissante de fabrication de composants et de produits électroniques (mais non d'applications de la micro-électronique) dans des nations aussi variées

que le Bangladesh, la Thaïlande, la Malaisie, Singapour et le Pakistan. L'Afrique ne dispose pas d'une base comparable, mais la nature de l'évolution technique de la micro-électronique au cours de ces dernières années a rendu plus aisé d'entrer dans ce domaine aujourd'hui qu'à aucun autre moment depuis qu'il existe. La technique est devenue plus facile et moins coûteuse aux niveaux de l'application et de l'utilisateur.

10. En face d'une révolution explosive en termes de complexité et de variété des composants et des systèmes micro-électroniques disponibles, ceux qui s'abstiendront d'y participer maintenant se heurteront à des difficultés bien plus grandes dans l'avenir et auront par conséquent une bien plus grande probabilité de se trouver enfermés dans la dépendance. Ceux qui entreront maintenant seront bien mieux en mesure de diriger le développement de la technologie à leur usage et à leur avantage. La conséquence pour l'Afrique est qu'il faut prendre rapidement des mesures pour se préparer à cette technologie nouvelle et pour assurer aux nations africaines le rôle qui leur revient dans la micro-électronique en tant qu'élément de leur stratégie de développement technologique.

11. Bien que cette nécessité historique pour les pays en développement de s'occuper sérieusement et de façon appropriée de l'électronique aille pour ainsi dire de soi, on comprend mal, trop souvent, la nature de cette activité. Il est absolument faux que toute activité concernant la technologie électronique soit "un pas dans la bonne direction". Bien au contraire, il est facile de tomber dans le piège consistant à créer des secteurs électroniques inadéquats. Tout particulièrement, il n'est pas nécessaire pour les pays africains de reproduire l'évolution de l'électronique dans les pays développés ou dans d'autres pays en développement.

12. Les diverses formes et applications de l'électronique jouent un rôle d'une importance croissante dans nos sociétés : pour les télécommunications, les loisirs, l'enseignement, l'industrie, l'agriculture (de plus en plus), etc. Naturellement, les pays se posent des problèmes de régulation et d'autosuffisance concernant ces domaines. A cause de la grande échelle possible de ces activités, ils se préoccupent aussi des sorties considérables de précieuses devises étrangères nécessaires pour acquérir les produits dont ils ont besoin. Malheureusement, les méthodes de substitution aux importations et le protectionnisme qui y a souvent été lié ont, dans de nombreux cas (mais non dans tous) donné de mauvais résultats. Les activités à grande échelle en cause sont aussi considérées comme pouvant permettre de créer de nombreux emplois, étant donné le rôle important que la main-d'oeuvre y jouait jusqu'à ces derniers temps (bien moins aujourd'hui) et

les possibilités considérables d'exportation de produits à forte valeur ajoutée. Ces perspectives ont fourni une bonne base pour des méthodes adoptées par certaines nations, à certains moments, dans certains domaines de l'électronique. Dans d'autres cas, elles ont conduit au gaspillage de ressources et à des méthodes inefficaces et même tout à fait inapplicables.

13. Il est recommandé que les pays d'Afrique, à quelques exceptions près, ne cherchent pas à créer des usines en vue d'obtenir des produits qu'on doit fabriquer dans des installations contrôlées avec soin pour arriver aux normes de coût et de qualité nécessaires pour être concurrentiel sur le marché international, où la technologie varie si rapidement qu'elle décourage les nouveaux venus éventuels, où certains concurrents, retranchés sur les positions qu'ils ont conquises, ont de grands avantages quant aux débouchés et quant à la production. Il s'agit notamment de produire des composants tels que les vidéocassettes, les calculatrices complexes, les circuits intégrés, les microprocesseurs, etc., aujourd'hui fabriqués en grande quantité au Japon, aux Etats-Unis, en Corée, à Hong-kong et dans divers autres pays. Les pays d'Afrique, d'autre part, n'ont pas à consacrer d'investissements considérables à des techniques déjà très évoluées telles que la télévision en noir et blanc et les postes de radio simples, où des artisans ayant facilement accès à des composants bon marché, peuvent, en se bornant à l'assemblage, obtenir sans difficulté de meilleurs résultats que les usines classiques. Ces pays devraient chercher à pénétrer dans les domaines portant au maximum leur avantage relatif, leur possibilité d'apprendre la technique et leur aptitude à satisfaire les besoins nationaux et ceux de leurs partenaires commerciaux de la région et d'ailleurs. La révolution récente en micro-électronique fournit, dans une certaine mesure, aux nations africaines, une occasion unique de franchir d'un bond le fossé qui les sépare, sur le plan technologique, des pays développés.

## II. LA REVOLUTION MICRO-ELECTRONIQUE

14. En 20 à 30 ans, la technologie électronique a fait des progrès gigantesques, passant du stade qui exigeait, pour remplir une fonction donnée, de nombreuses lampes séparées, d'assez grande taille, coûteuses et peu fiables, connectées par un câblage complexe coûteux et peu fiable à un stade où les lampes étaient remplacées par de petits transistors séparés qui devinrent bien meilleur marché et bien plus fiables (vers la fin des années 50, en moins de 10 ans, leur prix était tombé de 100 dollars à 1 dollar), puis au début des années 60 au stade où un grand nombre de ces transistors étaient intégrés sous forme de blocs logiques permettant de réaliser de circuits intégrés à petite et moyenne échelles. Le remplacement des lampes par des transistors a permis à l'industrie de passer de l'ordinateur prototype à de grands ordinateurs rentables, avec des durées de pannes acceptables, engendrant ainsi l'industrie des ordinateurs à unité logique. C'est ce même niveau de technologie qui a permis de mettre au point vers 1955 la calculatrice électronique à quatre fonctions, coûtant 1 500 à 3 000 dollars ("trop peu pour trop"). Le petit circuit intégré devait ramener le coût de ces calculatrices à 700 à 900 dollars et lancer les industries du miniordinateur et de la commande des machines par ordinateur.

15. A peu près au moment où la technique d'intégration à échelle moyenne avait achevé son évolution, arriva l'intégration à très grande échelle grâce à la technique MOS (métal-oxyde-semi-conducteur), permettant d'intégrer des fonctions tout entières en une seule microplaquette, utilisable pour les calculatrices, la commande des machines et de l'affichage, etc. Aujourd'hui, on peut intégrer littéralement des centaines de milliers de transistors en une seule microplaquette fournissant un bloc fonctionnel très complexe, par exemple pour une calculatrice, une machine à écrire ou une commande terminale de tube cathodique. La difficulté était que chacune de ces microplaquettes n'avait qu'un marché restreint parce qu'elle était conçue pour une fonction spécifique, n'était donc pas utile à tout le monde, et les énormes réductions de prix provenant des économies d'échelle étaient tout à fait impossibles. A cette époque, on s'est beaucoup préoccupé dans l'industrie de la façon dont on pourrait atteindre le volume nécessaire pour rendre cette technologie viable à un coût raisonnable.

16. Au cours des premières années 70, on a mis sur le marché une microplaquette à intégration à grande échelle programmable pour des fonctions de traitement de l'information et des fonctions de commande extrêmement variées; on pouvait

donc fabriquer en série et suivre la courbe dite courbe d'apprentissage. On obtint ainsi les réductions de prix dues à un outillage perfectionné et une production élevée. C'était le microprocesseur Intel 4004. Les premiers exemplaires avaient les inconvénients que l'on rencontre dans l'enfance de toutes les technologies. Ils étaient lents, stupides, très difficiles à programmer et à utiliser, mais les avantages que nous venons de citer l'emportèrent sur tous ces défauts et donnèrent lieu à la révolution du microprocesseur. Depuis, les microprocesseurs sont devenus régulièrement plus petits, plus "intelligents", meilleur marché et d'utilisation plus facile. Parallèlement, en deux ans, le coût à la sortie de l'usine d'une calculatrice simple tomba à 4 à 5 dollars et celui des grands circuits intégrés à grande puissance diminua encore davantage.

17. Les produits de consommation (tels que les jeux), les produits à usage commercial (comme les machines à copier et les machines de traitement de texte) et ceux destinés à l'industrie, par exemple pour les machines-outils, sont aujourd'hui au même stade embryonnaire quant aux applications possibles que l'industrie des semi-conducteurs lorsqu'on a mis au point les microplaquettes à intégration à très grande échelle. Les microprocesseurs permettent aujourd'hui, pour un coût de mise au point et de production très raisonnable, d'obtenir des produits, des machines et des systèmes pouvant remplir des fonctions extraordinairement variées. Les microprocesseurs sont loin d'être le seul domaine où il y ait eu, en micro-électronique, des avancées récentes importantes. Les microplaquettes vocales, l'électronique optique, les disquettes et bien d'autres s'ajoutent à un arsenal de composants qui permet de mettre au point les produits, des processus et des systèmes très intelligents, d'un emploi facile et relativement bon marché par rapport aux possibilités qu'ils offrent, très fiables même dans des conditions météorologiques défavorables, très rapides, très souples (on peut les adapter à des besoins spéciaux, les construire peu à peu de façon modulaire), petits et consommant peu d'énergie. Les produits et ces processus sont aussi relativement simples et relativement faciles à mettre au point et à fabriquer si on les compare, par exemple, aux produits réalisés à partir de composants distincts. Ce sont des caractéristiques de ce genre qui rendent la micro-électronique moderne si attirante pour les fabricants de presque tous les types de produits. Ce sont elles aussi qui rendent ces nouvelles techniques particulièrement "appropriées" pour les pays en développement, de certains points de vue, malgré le rôle qu'y joue la "technologie avancée".

18. Le point essentiel est de reconnaître que la technologie de pointe est mise dans les microplaquettes par le fabricant du semi-conducteur et que ce qui est transmis à l'utilisateur est simple et petit. En ce sens, il s'agit d'une fusion, d'une synthèse entre l'accent mis sur les technologies "appropriées" ou bon marché et les technologies de pointe. Bien qu'il s'agisse ici d'une des plus avancées des technologies courantes, la valeur de l'extrémité "micro" actuelle du spectre de la révolution électronique est précisément due à ce qu'elle permet des applications à petite échelle, bon marché et d'un emploi facile.

19. La situation est toute différente à l'autre extrémité du spectre de l'électronique, dite "macro", où l'introduction dans les entreprises de grands systèmes fondés sur l'ordinateur exige la création préalable d'une importante infrastructure : formation, aide technique en vue de l'entretien, des réparations, de l'établissement des programmes et des applications, ainsi qu'études sur l'élaboration des systèmes, etc. En examinant les applications des microprocesseurs, nous nous trouvons seulement en face de meilleurs moyens d'utiliser un nouveau type, très bon marché, d'outil à usages multiples, dont la conception a déjà exigé une énorme quantité de ressources pour la recherche-développement.

20. Pour se rendre pleinement compte de l'importance pour les pays africains du microprocesseur, il faut comprendre sa nature "contre-intuitive". La réaction naturelle, le juger inadéquat pour l'Afrique à cause de sa technologie poussée, est simpliste. La diffusion des microprocesseurs dans le monde entier est inévitable, mais le choix du calendrier est essentiel pour que le monde en développement les juggle et les régule avantageusement.

21. Cette révolution technique rend disponible une pléthore, susceptible d'être source de confusion, de composants, de produits et de systèmes qui fournissent à l'utilisateur la puissance de calcul, de traitement de l'information et de commande d'ordinateurs à unité logique à grande mémoire, pour un coût bien inférieur. Toutefois, il est essentiel d'introduire des distinctions.

22. Au niveau "micro", on trouve les microplaquettes, les circuits intégrés à la carte, les microprocesseurs que l'on peut concevoir et programmer pour remplir certaines fonctions spécifiques comme composants de certains produits. Ces circuits intégrés sont toujours utilisés en conjonction avec d'autres composants dans un circuit et c'est l'ensemble qui est en contact avec l'utilisateur ou avec d'autres éléments d'un système plus important. Un microprocesseur lui-même peut être un ensemble unique ou un groupement de plusieurs ensembles de composants

liés à l'unité de traitement (une unité centrale de traitement; une unité logique arithmétique; des circuits temporels et des circuits de commande; des mémoires internes). Si l'on ajoute à un microprocesseur les mémoires, entrées et sorties nécessaires, on obtient un micro-ordinateur. Dans certains cas, en utilisant une petite mémoire et de faibles possibilités d'entrées et de sorties, on a réussi à tout grouper sur une seule microplaquette. Un circuit peut comprendre d'autres espèces de microplaquettes, par exemple une microplaquette vocale, suivant l'application prévue. Quelle que soit la disposition, nous sommes encore au niveau de la microplaquette ou du groupe de composants, à incorporer dans un appareil.

23. C'est à un niveau bien plus élevé que se placent les miniordinateurs que l'on peut appeler des systèmes macro en réduction. Ces petits ordinateurs, machines de traitement de textes, etc., avec leurs claviers d'entrée, leurs terminaux de sortie, leurs tubes cathodiques, leurs imprimantes et tous les autres accessoires nécessaires, utilisent de nombreux microprocesseurs pour obtenir la capacité voulue. On les confond souvent, à tort, avec les microprocesseurs ou avec les micro-ordinateurs. On peut placer quelque part entre les deux catégories les ordinateurs à plaquette unique et certains micro-ordinateurs sont susceptibles d'être programmés de plusieurs façons. La différence essentielle reste cependant la nature de l'interaction entre l'unité de traitement et la source de l'information, comme nous l'avons dit plus haut.

24. Il est aussi possible de réaliser des systèmes composés d'une série de micro- et de miniordinateurs reliés entre eux et alimentant un gros ordinateur à unité logique. On peut ainsi faciliter l'intégration d'un grand nombre d'opérations décentralisées, chacune d'elles étant planifiée, régulée et rationalisée au mieux dans un centre de planification et de commande.

25. Cette différence entre micro et macro au niveau des fonctions a des conséquences très importantes pour la nature des applications envisagées, des qualifications et de l'infrastructure nécessaires pour la mise au point et l'utilisation et pour l'impact provoqué. En général, tandis que, pour l'incorporation de microprocesseurs dans un produit, la mise au point nécessite une haute qualification, l'utilisation du produit est facile. Au contraire, le miniordinateur est livré tel quel, mais son emploi exige une qualification élevée. Dans les deux cas, il est à remarquer que les qualifications de base nécessaires concernent la programmation (l'évolution actuelle tend à la faciliter) et, chose de la plus haute importance, la connaissance des applications voulues. Quant à l'impact

sur la productivité et sur l'emploi, les deux catégories tendent à différer. L'influence des microprocesseurs se fera probablement surtout sentir pour la production et le traitement (non seulement dans l'industrie, mais dans tous les autres secteurs, par exemple la santé), l'amélioration de la productivité et la réduction du nombre de personnes semi-qualifiées nécessaires (vérificateurs, contrôleurs, analystes, etc.), mais assez peu, contrairement à ce que certains ont affirmé, au niveau des faibles qualifications. En un sens, le microprocesseur assurera probablement aux pays en développement un avantage par rapport aux pays développés, en aidant les premiers à faire disparaître leur pénurie de travailleurs semi-qualifiés et en réduisant l'incidence des erreurs et autres difficultés dues à l'emploi de personnes peu qualifiées dans des activités exigeant beaucoup de main-d'oeuvre.

26. Les microprocesseurs sont employés dans des appareils entiers ou dans des sous-assemblages nouveaux ou améliorés (moins coûteux et donnant de meilleurs résultats) qui servent en général à un processus touchant la production, la commande ou l'information, par exemple une machine-outil ou un réseau d'irrigation intelligent, un contrôleur de produits ou de matériaux ou un analyseur (par exemple pour l'analyse du sang); dans un appareil destiné à réguler les paramètres d'un processus de fabrication de produits chimiques ou de traitement de produits alimentaires, de façon à optimiser davantage les caractéristiques; dans un appareil de commande de moteur de voiture, en vue de réduire la consommation de combustible en régime variable.

27. Le miniordinateur fera sentir son influence dans les bureaux et dans la planification à grande échelle, elle touchera les employés de niveau moyen et la nature des activités de ceux de niveau supérieur.

28. Souvent, il faut adjoindre au microprocesseur un capteur ou transducteur fournissant les informations d'entrée. On a dit que le coût des capteurs nécessaires freinerait le recours au microprocesseur dans les pays en développement. Bien qu'il y ait là quelque chose de vrai à court terme et que, pour certaines applications, cela puisse arriver pendant un certain temps encore, il ne faut pas oublier l'essentiel. D'une part, le prix des transducteurs baissera rapidement (grâce à une conception améliorée et à une fabrication en plus grandes séries) une fois que ces nouvelles applications deviendront possibles. Cela s'est déjà produit, par exemple, pour les capteurs de battements du coeur et se produira aussi, sans doute, pour les capteurs dont l'application n'est répandue que dans les pays en développement. D'autre part, pour la forme de captage nécessaire,

qui dépend de la fonction pour laquelle le microprocesseur est conçu, on peut souvent remplacer par des capteurs très simples des appareils coûteux utilisés antérieurement. Une influence du même genre s'est fait sentir dans d'autres catégories analogues de composants, telles qu'interrupteurs, sources d'énergie, convertisseurs d'analogique en numérique, où la révolution des microprocesseurs a déclenché la mise au point de nouvelles générations de composants compatibles avec ces derniers. Enfin, il est évident que nous ne devons pas nous attendre à voir les microprocesseurs très utilisés dans tous les domaines où c'est possible, mais seulement dans ceux où c'est rentable.

29. L'introduction très rapide de nouvelles technologies micro-électroniques, la baisse continue des prix des composants, la tendance régulière vers des appareils de plus en plus intelligents, mais de plus en plus faciles à utiliser, ne sont que les marches d'un escalier qui va vers l'avenir. Il suffit de se rappeler qu'il n'a guère fallu plus de 10 ans pour que la mémoire des microprocesseurs passe d'1K (mille vingt-quatre multipléts) à 64K et 256K.

30. Pour l'Afrique, les conséquences sont claires. C'est maintenant qu'il faut sensibiliser aux occasions qui se présentent, en faire prendre conscience et commencer l'apprentissage véritable, possible seulement par des activités réelles, en surveillant l'évolution, en développant et en utilisant l'aptitude à se servir d'appareils importés utilisant des techniques micro-électroniques avancées; enfin, il faut commencer la mise en oeuvre et le contrôle des aspects technologiques convenant le mieux aux besoins réels et aux ressources croissantes, qu'il sera possible aux pays africains de continuer à contrôler.

31. Dans les sections suivantes, nous donnerons quelque idée des avantages de ce qui est aujourd'hui l'élément le plus important de la révolution micro-électronique, des microprocesseurs, des occasions qu'ils fournissent ainsi que des considérations qu'ils entraînent sur le plan économique-social et sur le plan des qualifications. On sera ainsi conduit à élaborer une stratégie en vue d'appliquer cette technologie en Afrique.

### III. POSSIBILITES QU'OFFRENT LES MICROPROCESSEURS AUX PAYS AFRICAINS

32. Les microprocesseurs ont, par rapport aux autres appareils électroniques pouvant remplir des fonctions analogues, un certain nombre d'avantages intrinsèques qu'il faut reconnaître :

- Le matériel normalisé de vente courante (donc bon marché) peut être modifié de façon à accomplir presque n'importe quelle fonction ou à réguler presque n'importe quel processus. Il n'est donc plus nécessaire de mettre au point de nombreux appareils coûteux (exigeant une qualification élevée), formés d'un grand nombre de composants distincts reliés entre eux, ou de payer le coût très élevé de microplaquettes "à la carte".
- La meilleure fiabilité du système est un autre avantage essentiel des micro-ordinateurs. Les différents circuits intégrés, tels que les microprocesseurs, les mémoires photographiques ordinaires (RAM) ou effaçables et programmables (EPROM) et certaines microplaquettes périphériques, sont très complexes, mais ces composants se sont révélés au moins aussi fiables que certains des circuits intégrés de moyenne et de grande taille utilisés habituellement pour les circuits logiques. Dans l'immense majorité des applications, les micro-ordinateurs comprennent bien moins de composants que les systèmes logiques classiques; ils ont donc une fiabilité bien supérieure. Cette réduction du nombre de composants diminue la puissance de la source d'énergie, la quantité consommée, la quantité perdue et la quantité de chaleur produite, ainsi que la taille de l'ensemble. Là où il fallait auparavant plusieurs systèmes logiques classiques, on peut aujourd'hui les remplacer efficacement par un seul micro-ordinateur.
- La possibilité de mettre sous carter "la mécanique" quand des appareils électromécaniques, tels qu'un compteur ou un interrupteur, sont remplacés par des unités à base de microprocesseurs réduit beaucoup la probabilité de pannes dues à la poussière, à la corrosion, à la chaleur, à un mauvais usage, à un entretien insuffisant, etc.
- Meilleur fonctionnement et moins d'entretien le cas échéant sont d'autres avantages des micro-ordinateurs. A cause du moindre nombre de composants et de la meilleure fiabilité, l'entretien nécessaire est également moindre.

En cas de mauvais fonctionnement, le technicien peut se servir d'un programme de diagnostic pour aider à repérer et à isoler la déficience au niveau du panneau et parfois au niveau de la microplaquette. Pour certaines applications, on peut programmer un système de façon qu'il procède lui-même, automatiquement, à des vérifications, sans intervention humaine. Les programmes de diagnostic peuvent aussi comprendre l'aptitude à vérifier des organes de commande et des interrupteurs, des affichages, des voyants, etc.

- Un autre avantage est la plus grande facilité d'agrandissement due à ce qu'il est relativement facile de développer du matériel modulaire et de reprogrammer le logiciel. On peut mettre à jour celui-ci et programmer de nouvelles mémoires sans affecter le fonctionnement.
- Comme la capacité de la plupart des microprocesseurs est très supérieure à celle nécessaire à une application donnée, une fois qu'on a incorporé une microplaquette de ce genre, on peut lui faire remplir de nombreuses autres fonctions pour un très faible surcoût. Cette possibilité d'ajouter, pour un faible coût, de nouvelles fonctions fournit à celui qui met au point ou améliore un produit ou un processus une énorme souplesse et de très grandes possibilités d'applications créatives. Pour les pays manquant de personnel qualifié, l'une des caractéristiques pouvant être les plus utiles est la possibilité, comme nous l'avons dit, d'ajouter des dispositifs d'autodiagnostic permettant de vérifier le reste d'un système électronique.
- Les cycles de mise au point plus courts et plus faciles ont un autre avantage. On obtient ce résultat grâce à du matériel préfabriqué et une programmation modulaire. Ce dernier procédé réduit le travail à celui nécessaire pour des modules simples remplaçables, fonctionnels par eux-mêmes, ce qui est beaucoup plus facile; on diminue ainsi les besoins de formation. Lorsqu'un produit complexe est nécessaire, on peut relier entre eux, sans grands frais, les modules voulus par d'assez faibles quantités de logiciels établis spécialement.
- La réduction du matériel nécessaire a aussi l'important effet de permettre d'obtenir des produits bien plus petits et même miniaturisés. On peut donc avoir de petites unités, souvent meilleur marché, convenant bien pour un grand nombre de processus et de situations de fonctionnement, à petite échelle.

- L'"intelligence" et la vitesse du microprocesseur permettent de compenser de graves insuffisances touchant les autres systèmes, les qualifications, les conditions de fonctionnement ou les matériaux. Les microprocesseurs permettent par exemple, grâce à un ajustement compensatoire continu, d'utiliser dans les moteurs des combustibles de qualité inférieure et variable, d'obtenir un meilleur rendement d'appareils utilisant des apports énergétiques variables tels que ceux fournis par le vent et le biogaz, d'envisager la mise au point d'auxiliaires auditifs très bon marché en modifiant les signaux de façon à réduire le bruit de fond et la réaction qui existent dans tous les récepteurs et transducteurs de mauvaise qualité, de faire effectuer des travaux très difficiles, tels que l'analyse d'électrocardiogrammes ou la vérification de la pureté d'un produit chimique, par des techniciens peu qualifiés, etc. Ces conditions exigeant une compensation sont fréquentes dans les pays en développement et dans les produits et systèmes qu'ils utilisent. Une conséquence importante est l'énorme possibilité d'économies sur les qualifications.
- La planification et l'optimisation de grands systèmes complexes (dans les transports, dans les liaisons entre producteurs, stockeurs et transformateurs de produits alimentaires et même entre unités de grandes opérations intégrées, etc.) sont notoirement mauvaises, même dans les pays développés. Dans la plupart des cas, de mauvaises données, des conditions variables et des modes incomplets ont réduit le rendement de méthodes d'optimisation fondées sur l'analyse des systèmes et sur la recherche opérationnelle. On peut mettre au point, à partir de la base, des modèles bien plus robustes où, par exemple, des micro-ordinateurs et même des miniordinateurs servent à optimiser le fonctionnement local en tenant compte d'informations d'entrée et de sortie provenant d'un réseau de telles unités commandées par processeur. Cette tendance à utiliser un plus grand nombre d'unités de traitement liées entre elles est une caractéristique des principales usines de pointe japonaises. Les conditions qui existent dans les pays en développement rendent des structures décentralisées reliées entre elles bien préférables à une intégration et une centralisation poussées car elles permettent la souplesse, la construction modulaire, l'augmentation progressive de la capacité, etc. Les micro- et miniordinateurs joueront un rôle très important, en conjonction avec les télécommunications (autre domaine critique du développement) pour rendre possible une méthode décentralisée d'optimisation de la planification nationale et même de celle des sociétés.

- Enfin, la possibilité d'obtenir des produits plus attrayants et moins rébarbatifs, dont l'adoption par l'utilisateur final semble donc plus facile, constitue un avantage esthétique et psychologique.

33. Bien que les avantages ci-dessus constituent le côté favorable du tableau, ils montrent aussi le revers de la médaille. Il ne faut pas envisager l'emploi de microprocesseurs quand ces "avantages" n'ont aucune valeur réelle pour le producteur ou l'utilisateur, ni quand les conditions sur le plan économique et sur le plan des qualifications, dont nous allons parler, ne sont pas favorables. Le présent document est de façon évidente favorable aux microprocesseurs, mais il ne faudrait pas en conclure qu'on doive les utiliser chaque fois que c'est possible. Un élément essentiel de tout programme de formation et de sensibilisation est donc de faire comprendre quand et comment les utiliser (ou non) et quel type choisir.

34. Les possibilités et les avantages des microprocesseurs ont conduit à les incorporer de plus en plus dans les produits et dans les procédés. Les produits de consommation, les voitures, les machines-outils, les processus chimiques, les dispositifs de sécurité et bien d'autres contiennent maintenant de nombreuses microplaquettes. Il sera bientôt impossible d'acheter une voiture ou un poste de télévision n'en contenant pas. Bon gré mal gré, les pays africains deviendront des utilisateurs de ces produits et de ces procédés. Le défi qui leur est lancé est : devenir de bons utilisateurs.

35. Cette forme "induite" de la technologie du microprocesseur exige, pour y faire face, plusieurs activités :

- a) Il faudra modifier (par recyclage ou restructuration suivant le cas) le personnel et les systèmes employés pour fournir des services aux voitures, au matériel des hôpitaux, aux appareils électroménagers, etc. L'expérience des pays développés a montré que ce passage est très difficile, mais inévitable. Les travailleurs âgés se sont montrés lents à s'adapter et il a fallu, pour surmonter cette résistance, mettre au point de nouvelles méthodes de formation. Le recours à l'instruction et à la formation programmées à base visuelle s'est montré efficace. Un programme de ce genre a été mis au point aux Etats-Unis par la Northwestern University, avec l'aide du Ministère du commerce, et adopté par l'Electronic Industry Association. En outre de la formation, on a besoin de systèmes de service permettant le diagnostic et le remplacement de modules sur place.

Avec les microprocesseurs, le service n'est pas plus difficile; en fait, il semble être moins souvent nécessaire et, une fois bien compris grâce à une bonne préparation, il est d'ordinaire plus facile; c'est seulement le fait qu'il est différent qu'il peut effrayer ceux qui ne sont pas familiarisés avec cette technique et qui peuvent se trouver pour la première fois de leur vie en face d'une machine intelligente (un ordinateur).

- b) Même des produits et des procédés importés relativement classiques peuvent permettre une adaptation considérable aux besoins particuliers, grâce à la souplesse intrinsèque du microprocesseur, si l'utilisateur connaît suffisamment les fonctions à demander ou peut effectuer lui-même les modifications nécessaires.

36. Les pays africains sont aussi impliqués d'une autre façon dans la révolution du microprocesseur. Il s'agit de la nécessité de rester concurrentiel et de maintenir les coûts à un niveau raisonnable pour certains produits, procédés et systèmes actuellement produits en Afrique, ou qui le seront probablement dans l'avenir, tant pour l'usage dans le pays que pour l'exportation. Ici encore, le choix ne sera guère possible si l'incorporation des microprocesseurs devient habituelle pour ces applications spécifiques; sans eux, il serait tout à fait impossible, dans bien des cas, d'arriver à la combinaison voulue de caractéristiques, de coûts et de résultats. Ceci serait tout aussi vrai pour les exportations vers d'autres pays en développement que vers les pays développés. Dans ce cas, les qualifications nécessaires porteraient sur la mise au point et la fabrication du produit. Il en serait de même pour des coentreprises avec des firmes étrangères utilisant les microprocesseurs.

37. A long terme, les nouvelles applications "autonomes" pouvant être favorables au développement des pays africains auront plus d'importance. Il peut s'agir de produits et de procédés pour accroître l'efficacité et le rendement dans tous les secteurs de l'économie et aussi d'ouvrir de nouveaux débouchés à l'exportation.

38. Etablir une liste de ces applications pose un dilemme. Les possibilités sont presque infinies, limitées seulement par l'expérience acquise jusqu'ici et par les connaissances et l'imagination des créateurs et des utilisateurs. Une liste est annexée, à titre d'exemple, au présent document, parce que le scepticisme, naturel et justifié, de ceux qui formulent la politique à suivre l'exige. Les applications décrites concernent des produits, des procédés et des systèmes, déjà mis au point ou conçus, qui paraissent utilisables dans le contexte

africain. Elles ont été délibérément choisies de façon à couvrir une gamme étendue d'applications, de produits et de procédés utilisables dans l'un ou l'autre des secteurs primaire, secondaire et tertiaire de l'économie (tels que l'industrie manufacturière, l'industrie chimique, la transformation des produits alimentaires, l'agriculture, les transports, les télécommunications, l'énergie, les soins médicaux) ou directement par les consommateurs. Il faut auparavant faire quelques remarques :

- a) Avant tout, c'est la chose la plus importante, il faut reconnaître que nous avons affaire à un ensemble de techniques dont l'impact possible est voisin d'une nouvelle révolution industrielle. Les applications que l'on peut décrire aujourd'hui seront probablement aussi limitées dans leur conception qu'aucune de celles qu'on aurait pu décrire au début des révolutions technologiques antérieures. Même dans les pays développés, on n'a, jusqu'ici, qu'à peine égratigné la surface des applications possibles. De même, comme il est aujourd'hui évident qu'on ne peut créer une industrie manufacturière sans certains métaux et autres matières, sans les possibilités de fabrication, de montage et d'essai nécessaires, il sera tout aussi essentiel dans l'avenir d'avoir mis en oeuvre les possibilités de traitement de l'information de la présente ère technologique.
- b) Jusqu'ici, la plupart des applications existantes ont été mises au point dans le Nord. Il est probable que les modes d'utilisation seront très différents dans le Sud, à cause des différences touchant les besoins, les possibilités et les ressources, mais ils n'apparaîtront en grand nombre que lorsque la quantité d'efforts déployés et d'expérience acquise aura atteint, dans les pays en développement, une masse critique. Au début, la plupart des applications seront des extensions et des conversions choisies et modifiées à partir de ce qui est apparu dans les pays développés devenus de bons utilisateurs de microprocesseurs. Il est à remarquer que, même dans le Nord, les possibilités d'application des microprocesseurs varient beaucoup, les Etats-Unis et le Japon étant très en avance sur les quelques leaders européens, et que les nations à la traîne du Nord se sont beaucoup préoccupées de cet écart et font actuellement de grands efforts pour le combler. Il est intéressant de penser qu'un effort vigoureux en Afrique pourrait amener ce continent à être, pour cette technologie, en avance sur certains pays normalement (ou, pourrait-on dire, auparavant) considérés comme développés.

- c) Les connaissances techniques réellement nécessaires pour décrire les applications devraient provenir des utilisateurs, non des experts en micro-électronique dont le rôle est de faire comprendre à celui qui met au point un produit en fonction des utilisateurs ce qu'il est possible de faire et de lui montrer ensuite comment la réaliser, sur le plan électronique, une fois l'application spécifiée. Bien entendu, une liste d'exemples d'applications établie d'un point de vue micro-électronique pourrait faire l'objet de questions, de la part d'un utilisateur critique. Le danger est que l'on glisse d'une discussion sur l'essence de l'utilité de la technologie à une critique de l'application particulière en cause.

Compte tenu de ce qui précède, la liste d'exemples de l'appendice a été établie pour essayer de faire prendre conscience de la nature et de la variété des applications que l'on peut aujourd'hui envisager.

IV. CONDITIONS NECESSAIRES POUR L'APPLICATION EN AFRIQUE  
DE LA TECHNOLOGIE DU MICROPROCESSEUR

39. Il est essentiel d'avoir un tableau réaliste des coûts et des investissements nécessaires pour appliquer les microprocesseurs.

40. Les éléments clefs de la structure des coûts entraînés par la mise au point et la production sont : les coûts du matériel électronique et les coûts ultérieurs d'assemblage et d'essai; les coûts de la programmation; le coût des systèmes de développement permettant de programmer; enfin, les coûts de l'entretien et de l'utilisation. Certains de ces éléments dépendent beaucoup des quantités en jeu.

- a) Le matériel électronique (microplaquettes, mémoires, périphériques) peut coûter en tout de 3 à 75 dollars par grandes quantités (7 à 10 000 unités par an) jusqu'à 20 à 200 dollars ou plus pour de faibles productions annuelles (pouvant être de 30 à 50 unités), suivant, bien entendu, l'application. Il faut y ajouter les composants non électroniques (carters, boutons, etc.) plus les capteurs éventuellement nécessaires. Il ne faut pas oublier que, dans les pays en développement, on emploiera le plus souvent des microprocesseurs à petite mémoire, 4 ou 8 multipléts, qui sont déjà très bon marché, plutôt que les versions plus récentes, encore coûteuses, à 16 ou 32 multipléts (bien que le prix de ces dernières, lui aussi, baisse de mois en mois).

Pour un nouvel utilisateur en petite quantité, il est utile de rechercher les microplaquettes qui ont été fabriquées pour des utilisateurs plus importants et sont donc disponibles très bon marché. La grande souplesse du microprocesseur, s'il est judicieusement choisi, peut permettre à un utilisateur différent de la modifier de façon à la rendre tout à fait adéquat à l'application recherchée. C'est souvent possible, mais non toujours. Ici encore, l'idée traditionnelle que les composants perfectionnés provenant de pays développés ne conviennent pas pour les pays en développement se révèle fausse.

Enfin, quant aux coûts des matériaux, remplacer un dispositif mécanique ou électromécanique, par exemple pour la commande d'appareils et d'interrupteurs, par un dispositif électronique équivalent permettra souvent une économie sur les matériaux. L'appareil électronique sera aussi d'ordinaire plus efficace et capable d'un plus grand nombre de fonctions.

- b) Le coût de l'assemblage, qui est l'élément principal, dépend de la taille et de la complexité de l'application, mais, étant donné le moindre nombre de composants à assembler, le recours aux microprocesseurs conduit en général à un coût de production inférieur à celui d'un autre dispositif électronique équivalent.
- c) Le coût du logiciel dépend aussi de la complexité du programme; on emploie actuellement aux Etats-Unis une règle empirique : 10 000 à 75 000 dollars pour un programme de 4 000 mots et jusqu'à 5 à 6 fois autant pour des programmes d'environ 16 000 mots. Il est probable que ces coûts seront bien plus bas dans les pays en développement, une fois la capacité nécessaire créée. Par exemple, plusieurs des pays en développement les plus avancés se sont montrés extrêmement concurrentiels pour la mise au point de logiciels et ils exportent des programmes. Les coûts pourraient donc être considérablement réduits. Ici encore, le volume de production joue un rôle, car les coûts de la programmation doivent se répartir sur le total des produits fabriqués. Toutefois, comme actuellement la plupart des pays en développement n'auront besoin que de programmes moins importants, coûtant sans doute 15 000 à 50 000 dollars, le coût unitaire sera en général acceptable, même pour des volumes modestes.

Il faut aussi remarquer les tendances des coûts du logiciel. D'une part, la proportion de ses coûts dans les coûts totaux de mise au point d'un système électronique a augmenté régulièrement, passant d'environ 20 % en 1955 à quelque 80 % aujourd'hui. En même temps, la programmation des microprocesseurs devient de plus en plus facile et de plus en plus efficace, en particulier pour les petites unités à 8 multiplets. Un pays en développement doit envisager non seulement le coût de la conception, de la mise au point, de l'élimination des erreurs, de la documentation, de l'entretien, etc. pour des projets spécifiques, mais aussi ceux de la formation. Du point de vue de la planification nationale, il est indispensable de comprendre que, dans la mise au point des microprocesseurs, les qualifications clefs nécessaires, une fois que les applications ont été définies, portent sur la création du logiciel. Cela pourrait donner aux pays en développement un avantage appréciable.

- d) Pour la mise au point, les investissements nécessaires portent sur un système de mise au point de microprocesseurs et quelques appareils supplémentaires, que l'on peut utiliser pour des applications très variées. Le coût de cette "boîte d'outils" peut varier de 15 000 à 50 000 dollars.
- e) Les coûts de l'entretien et de l'utilisation devraient être moindres qu'avec des produits et des processus équivalents. Il y aura un coût supplémentaire pour recycler le personnel et mettre au point une infrastructure auxiliaire appropriée convenant aux systèmes à microprocesseurs, faute de quoi les coûts peuvent être élevés, car le dépannage est tout à fait impossible si l'on n'a pas les connaissances voulues.

41. L'application des microprocesseurs exige des qualifications de quatre catégories principales : la première concerne la détermination des besoins et la spécification des applications. Où des produits à microprocesseurs peuvent-ils être utilisés le plus efficacement et quelles sont leurs caractéristiques quant aux résultats obtenus, à l'entretien et aux coûts ? Cette information ne peut être fournie que par des personnes sensibilisées aux possibilités du microprocesseur, mais connaissant en outre à fond les besoins des utilisateurs et les conditions d'emploi. La seconde catégorie, la principale de celles nécessaires pour le développement, est l'établissement des logiciels, mais en liaison avec le processus de production. Comme il s'agit de produits, de processus et de systèmes dont les caractéristiques sont assez différentes de celles familières aux utilisateurs, il faut créer les stimulants voulus, promouvoir l'adoption des nouveaux produits et des nouvelles méthodes et aider l'utilisateur à les accepter, puis à se servir à plein de la capacité accrue, en particulier pour réduire les coûts. Enfin, comme nous l'avons déjà dit, il faut créer les qualifications nécessaires pour l'utilisation, l'entretien et les réparations.

42. On déduit de ce qui précède qu'une condition préalable à la mise en place de cette technologie est la création d'un processus de sensibilisation et de formation et l'établissement de structures pouvant produire les combinaisons de qualifications voulues. On pourrait envisager des équipes formées d'utilisateurs et d'experts en micro-électronique pour des domaines variés d'application, qui seraient reliées pour former des réseaux par domaine, par région et à l'échelle mondiale. Ces réseaux devraient aussi pouvoir compter sur l'aide d'équipes plus spécialisées d'experts en technologie et en applications. Il sera également essentiel de

mettre au point les méthodes et les structures nécessaires à la réalisation des programmes. Il faudrait créer un système de collecte et de diffusion des données, y compris une bibliothèque et une banque de données, pour collecter, conserver et diffuser l'information concernant diverses applications en Afrique des micro-processeurs. La bibliothèque devrait contenir des informations sur les derniers progrès techniques, les possibilités nouvellement décelées, les endroits où trouver les qualifications voulues, etc., ainsi que des informations de base sur la micro-électronique. Il faudrait en particulier insister sur la diffusion étendue de renseignements sur les techniques et la formation.

## V. METHODES D'APPLICATION

### A. Méthodes générales

43. Les méthodes d'application des programmes destinés à stimuler et à faciliter l'emploi approprié, dans les pays africains, de produits et de processus fondés sur les microprocesseurs ainsi qu'à réaliser l'infrastructure nécessaire pour les conserver et les améliorer doivent nécessairement être à l'image des applications probables, très variées. Néanmoins, il faut s'appuyer sur certains principes généraux :

- a) Les méthodes doivent, au départ, se fonder essentiellement sur la pratique. Les programmes devraient commencer par une bonne détermination des besoins et des pratiques présentes des candidats au microprocesseur, ou des produits et processus déjà fabriqués ou utilisés dans le pays. La méthode doit consister à incorporer d'abord les microprocesseurs dans les produits, processus et applications existants, là où ils peuvent développer l'usage, améliorer la qualité ou la fiabilité, réduire les coûts, etc. C'est seulement quand les premiers stades d'incorporation et d'adaptation auront été franchis avec succès que l'attention se portera sur l'extension du rôle du microprocesseur, en grande partie dans le cadre des applications existantes, mais aussi pour de nouvelles applications exigeant des modifications plus profondes de la pratique.

Cette méthode est de loin préférable à celle consistant à exiger de ceux qui adoptent l'informatique qu'ils acceptent de nouveaux produits et de nouveaux processus à base technologique. Le taux normal d'échecs pour les produits et procédés "nouveaux" est si élevé que le résultat serait sans doute un retard à la réalisation du programme, pour des raisons sans aucun rapport avec la valeur du microprocesseur. Même cette approche prudente doit être précédée d'un programme de recherche assez important pour déterminer la pratique existante et les objectifs d'application. Le programme exige la combinaison de données provenant des utilisateurs et de la pratique avec l'emploi d'experts en technologie: il devrait s'appliquer par l'intermédiaire d'entreprises existantes, de stations de recherche et de vulgarisation agricoles, de centres de santé, de centrales électriques et de réseaux de distribution et d'autres entités en fonctionnement. De plus, chaque fois que ce sera possible, il faudrait commencer en coopération avec les établissements africains

dont on pourrait savoir qu'ils ont déjà commencé à travailler sur l'application du microprocesseur et des technologies micro-électroniques connexes. Pour la même raison, il faudrait utiliser autant que possible les institutions nationales et régionales africaines existantes (ou nouvelles) capables de jouer un rôle significatif dans le programme pour la planification, la coordination et l'éducation. Il pourrait être nécessaire de renforcer ces institutions pour qu'elles jouent bien les rôles ci-dessus.

Les présentes recommandations impliquent qu'il faudrait commencer par des programmes d'étude et de recherche pour définir les cas où l'application est la plus désirable et les ressources disponibles dans diverses nations et régions africaines.

- b) Il est indispensable de mettre au point des méthodes permettant une promotion et une diffusion optimale du programme, structurellement aussi bien qu'opérationnellement. Il faut envisager des liaisons formant des structures régionales et une méthode par "apprentissage et amélioration par l'action", qui se développe suivant un cycle utilisation, fabrication, amélioration et innovation.
- c) On doit faire tous les efforts possibles pour utiliser toutes les sources appropriées d'assistance technique provenant d'autres pays en développement (dans le cadre de la coopération technique entre pays en développement) ainsi que des pays développés.

Dans le premier cas, il faut tenir compte des nouveaux croissants de connaissances techniques dans ce domaine qui ont commencé à apparaître dans divers pays d'Asie du Sud et du Sud-Est, au Moyen-Orient et en Amérique latine. Une offre ferme d'aider de cette façon les nations africaines dans le cadre de la coopération technique entre pays en développement a déjà été communiquée au présent auteur et l'on pourrait certainement en obtenir d'autres. Il faudrait aussi chercher à favoriser l'échange d'expérience entre pays africains et autres pays en développement par la formation d'un réseau (échanges de personnel, visites, bulletins d'information, banques d'informations).

Dans les cas des pays développés, les fournisseurs d'appareils électroniques, les fabricants de produits et les utilisateurs de processus incorporant des microprocesseurs auront intérêt à fournir cette assistance pour développer leurs débouchés. De nombreuses entreprises pouvant

s'intéresser à la participation sont, dans leur pays, classées petites ou moyennes; ce ne sont donc pas nécessairement les grandes transnationales. Certains de ces petits et moyens fabricants pourraient aussi être d'excellents candidats pour des coentreprises avec des entreprises africaines appropriées.

Il faudrait aussi s'adresser aux ingénieurs consultants en applications des microprocesseurs qui existent dans divers pays. Il faut souligner que les connaissances spéciales requises diffèrent beaucoup, de par leur nature, de celles nécessaires pour la recherche et la conception de microprocesseurs et qu'on a donc bien moins de chances de la trouver, par exemple, dans de grands établissements de recherche sur l'électronique ou dans les départements de physique et d'électronique des universités de pays développés. En revanche, les laboratoires de technologie appliquée et les stations de recherche (des pays développés comme des pays en développement) qui disposent de missions pour améliorer les produits, les processus et les systèmes utilisés pour la production industrielle, l'énergie, les transports, la santé, l'agriculture, le bâtiment, etc., ont toutes chances d'être d'excellentes sources d'information et de technologie. De nombreux pays peuvent avoir recours à ces sources et devraient en faire usage.

- d) Le programme doit être conçu de façon à se suffire à lui-même par des efforts parallèles, mais décalés dans le temps en utilisant :
- o La formation (en Afrique et ailleurs). L'objectif doit être surtout la formation de formateurs et l'on devra axer les activités sur les possibilités d'appliquer la micro-électronique, y compris la conception et les modes d'utilisation, par exemple, comment le microprocesseur fonctionne pour différents systèmes de produits, la création de logiciels, les besoins en matière d'interfaces entre composants, les transducteurs, les sources d'électricité, des exemples d'application et des calculs de rapports avantages-coûts, la nature et les caractéristiques des appareils micro-électroniques disponibles, l'entretien et le fonctionnement, les tendances de la technologie et les possibilités futures, les méthodes et approches permettant d'introduire et de diffuser avec succès les applications (par exemple, comment former les utilisateurs).

- c La création progressive d'expérience et de confiance chez les utilisateurs comme chez les producteurs par des applications modèles judicieusement choisies pour chaque pays. Ces applications devraient être choisies d'après des critères tels que les suivants :
- 1) plusieurs secteurs différents en jeu (tels que l'industrie, les transports, l'agriculture, le traitement de denrées alimentaires, la santé);
  - 2) choix fait de façon à donner des exemples variés de la nature des utilisations telles que :
- Incorporation dans des applications traitant d'un besoin ou d'un problème local, par exemple, le contrôle du stockage des produits alimentaires. Les exemples devraient être d'importance modeste et choisis de façon à profiter des systèmes de fourniture déjà existants et fonctionnant bien.
  - Incorporation dans des produits (avec une modeste expansion de ceux-ci) déjà fabriqués pour le marché national et/ou pour l'exportation. Le but ici est de renforcer et de développer une base de production existante. Ce serait là l'idéal pour essayer quelques coentreprises. Pour promouvoir celles-ci, on devrait définir les partenaires possibles dans les pays africains et dans certains des pays nouvellement industrialisés et des pays développés. puis faciliter les contacts directs bilatéraux entre une entreprise et une autre. Il existe déjà des procédés pour favoriser ces arrangements et l'on a déjà commencé à déceler plusieurs partenaires possibles de coentreprises ainsi que des possibilités de financement.
  - Développer ou renforcer les utilisations possibles de produits importés qui commencent à contenir des micro-processeurs. Comme cela devra se faire de toute façon, l'objectif sera de "montrer le chemin".
  - Commencer, dans certains centres d'excellence, des recherches axées sur la mise au point de nouveaux types d'application qu'on a peu de chance de trouver dans le Nord, mais qui intéressent particulièrement l'Afrique. L'objectif ici serait d'assurer, à long terme, l'intégrité et l'indépendance des efforts.

Les critères ci-dessus peuvent être rassemblés sous forme de la matrice suivante.

<u>Nature de l'utilisation</u>	<u>Secteurs industriels</u>				Santé	Transports
	Transformation des métaux	Bois	Agro	Aliments		
	1. Résolution de problèmes	Par exemple, amélioration de la qualité, économies de matières premières ou réduction des pertes				
2. Amélioration des produits	Par exemple, amélioration des caractéristiques, réduction des coûts				-	-
3. Utilisation	Entretien de l'équipement	-	-	Commande et contrôle	Dans le matériel des hôpitaux	Voitures
4. Recherche	Produits et procédés nouveaux				Nouvelles applications	

Les modèles choisis devraient couvrir une série appropriée de cases mais, évidemment, pas toutes. De plus, la série pourra être constituée à l'échelle de la région, chaque pays fournissant quelques exemples. Les indications qui figurent dans les cases ne sont que des exemples.

- e) Enfin, il est important de signaler à quel point le calendrier est critique. La micro-électronique est en cours d'évolution rapide. Les structures qui s'établissent aujourd'hui auront des conséquences à long terme. Il est indispensable que les pays africains s'octroient leur part du secteur assez tôt pour ne pas être enfermés dans une condition de dépendance inadéquate. Donc, bien que la méthode recommandée réclame une phase initiale à petite échelle avec apprentissage et accroissement de la capacité graduels, il sera essentiel qu'elle soit suivie, dans une seconde phase, d'un effort à grande échelle de plus en plus poussé. En outre, il importe que ces efforts commencent rapidement.

#### B. Plans spécifiques

Les plans spécifiques qui suivent sont suggérés à titre de base de discussions.

1. Phase I. Introduction (12 mois)

- o Créer une structure de planification coordonnée.
- o Mettre en oeuvre un programme de recherche et d'étude permanent qui commencera par une enquête sur les besoins, les ressources (qualifications, institutions, entreprises, etc.), les possibilités et les contraintes (telles que les obstacles socio-économiques et institutionnels) devant servir de base à une série (probablement régionale) d'ateliers et de conférences afin, d'une part, d'obtenir des pays des engagements financiers, d'autre part, de choisir des projets appropriés et d'allouer des crédits à des projets pilotes. Il est à recommander que les pays africains, même les plus grands et les plus développés, se limitent au départ à cinq ou six projets au plus, ce chiffre devant être réduit pour les petits pays.

Il sera nécessaire de fournir la formation initiale et de mettre au point des méthodes pour l'enquête ci-dessus. L'effort de recherche porterait ensuite sur le développement à long terme dont nous avons parlé plus haut.

- o Une fois établies les applications pilotes, la formation commencerait à petite échelle en vue de :
    - sensibiliser les décideurs aux niveaux des gouvernements et des institutions;
    - sensibiliser les utilisateurs, le personnel de vulgarisation, etc., aux applications et approches possibles dans les zones choisies;
    - développer les capacités de ceux qui seront les premiers ingénieurs chargés d'utiliser les microprocesseurs pour les applications choisies au départ, de façon qu'ils puissent en former d'autres;
    - commencer à développer la capacité de chercheurs tels que des enseignants universitaires, en vue d'activités dans l'informatique.
- Le programme de formation ci-dessus devrait être appliqué en Afrique et dans les sources de technologie.

Il sera au point des méthodes.

Commencer à appliquer des programmes pilotes, ce qui devrait se faire par étapes en commençant par un ou deux projets et en ajoutant peu à peu les autres pour arriver à réaliser les phases I et II.

- o Procéder à une évaluation de la phase I et organiser un ou plusieurs ateliers pour passer en revue les résultats.

2. Phase II. Intensification de la création de capacités (13 à 24 mois)

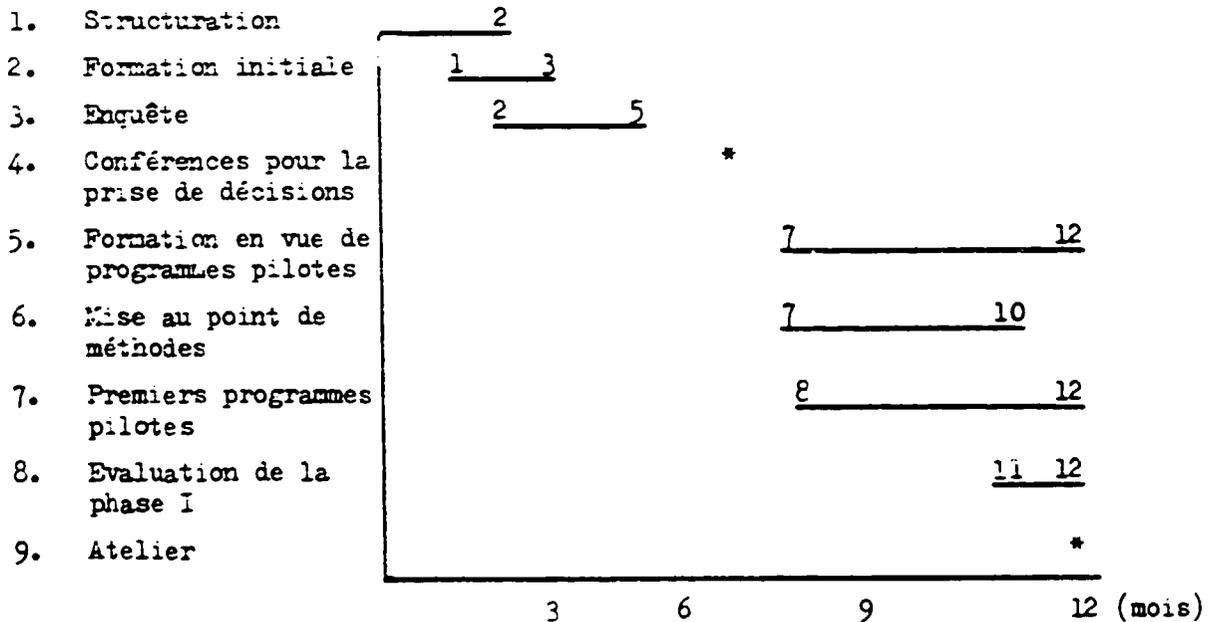
- o Développer les efforts de formation en employant les personnes formées au cours de la phase I.
- o Intensifier les activités dans le cadre des projets - tous les projets pilotes étant mis en oeuvre.
- o Lancer des efforts de recherche accrus.
- o Organiser des systèmes de collecte et de diffusion des données.
- o Commencer des efforts d'échanges entre pays et entre régions.
- o Evaluer la phase II.

3. Phase III. En marche (trois à cinq ans)

Programmes plus étendus de formation, nouveaux projets, nouvelles recherches,

Nous ne suggérons actuellement que les phases I et II et elles pourraient même être adoptées l'une après l'autre. Un programme éventuel est indiqué ci-dessous.

Phase I



(Note : Les interactions sont particulièrement fortes entre les points 5, 6 et 7.)

Phase II

10. Développement de la formation	
11. Intensification de la mise en oeuvre des projets	<u>22</u>
12. Expansion de la recherche	<u>15</u>
13. Données; systèmes de diffusion	<u>15</u>
14. Echanges	<u>18</u>
15. Evaluation	<u>22</u>

12 15 18 21 24 (mois)

APPENDICE : APPLICATIONS DES MICROPROCESSEURS  
DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

A. Commande et contrôle des processus industriels

Ce domaine très vaste couvre, entre autres, les essais de matériaux, le contrôle de la qualité, celui des pièces détachées et des assemblages terminés, l'automatisation des stades de fabrication dans une usine, l'essai des produits. Des applications appropriées des micro-ordinateurs permettent d'être plus concurrentiel sur le plan des coûts et sur celui de la qualité.

Il existe de nombreux exemples d'applications. On peut citer, entre autres :

1. Pour chaque coulée de fonte ou d'acier, il est nécessaire de vérifier et de rectifier les teneurs en carbone, en azote, soufre et autres éléments du métal liquide. L'équipement actuellement disponible pour un contrôle précis de la qualité de l'acier produit dans les pays développés est coûteux et d'un maniement difficile, mais on peut, au moyen des microprocesseurs, réaliser un système plus simple, bon marché qui, quoiqu'un peu moins précis, conviendrait aux pays en développement.
2. Dans ces pays, le rejet de plaquettes câblées pose un problème dans les ateliers d'électronique, mais les appareils d'essai actuellement disponibles sont coûteux à l'achat et à l'entretien. Jusqu'ici, l'autre terme de l'alternative a été un grand nombre de techniciens qualifiés surveillant et réparant les plaquettes. On a mis au point des appareils fonctionnels utilisant des microprocesseurs qui ne coûtent que le tiers des autres et seraient indiqués dans les pays en développement.
3. Dans tout procédé industriel chimique ou biochimique, le microprocesseur permet une régulation plus fine et plus continue que lorsque l'homme intervient, ce qui permet une optimisation en différents endroits et à différents stades du processus. On peut ensuite relier ces optimisations, ce qui permet un rendement total du procédé bien plus élevé.

B. Energie

1. Energies solaire, éolienne, hydraulique et énergie obtenue par récupération de chaleur. Les applications des microprocesseurs comprennent le contrôle du rendement et la surveillance météorologique afin qu'on puisse estimer

d'avance les besoins en énergie d'appoint. Ces systèmes et des systèmes énergétiques analogues, souvent utilisés dans les pays en développement au niveau du village, se prêtent à de nombreuses applications des microprocesseurs.

- 1 a) Par exemple, les systèmes de fourniture d'énergie utilisant le vent, l'eau, la chaleur perdue, etc., qui sont employés par leur propriétaire ne peuvent d'ordinaire fournir de l'énergie qu'à temps partiel ou à charge partielle et il faut fréquemment connecter et déconnecter le courant fourni par une centrale, ce qui exige un contrôle constant par un personnel qualifié. La commande par microprocesseurs permet une synchronisation de la tension et de la phase avec la centrale, de façon à assurer la répartition de la charge entre les deux sources, la fourniture automatique d'électricité au réseau local et un passage, sans interruption, d'une source à l'autre.
  - 1 b) Les génératrices des petits villages ne sont pas connectées à un réseau en prévision des charges de pointe; il faut donc soit avoir une réserve tournante considérable, ce qui est un gaspillage coûteux, soit recourir fréquemment à des restrictions imposées aux utilisateurs ou à des coupures de courant chaque fois qu'il se présente une surcharge imprévue. Un système à base de microprocesseurs peut réguler les charges en chaque point, les répartir et couper le courant aux utilisateurs non prioritaires.
  - 1 c) Pour produire de l'énergie électrique, il faut recourir à des moteurs à combustion interne ou à des turbines dont le rendement est inférieur à 35 %; les deux tiers de l'énergie passent dans l'atmosphère sous forme de chaleur perdue. Des systèmes à base de microprocesseurs pourraient récupérer cette énergie et la distribuer de façon régulée en vue de son utilisation.
  - 1 d) Moulins à vent. On peut se servir de microprocesseurs pour modifier l'angle des ailes d'après les variations de la direction du vent, ce qui augmente beaucoup le rendement.
2. Combustibles fossiles. L'impact technologique touche surtout la consommation de combustible et le rendement. Il existe de nombreux systèmes à microprocesseurs pour surveiller les conditions et réguler le mélange afin

d'améliorer l'utilisation de l'essence dans les voitures, de leur permettre l'usage de combustibles de moindre qualité, etc. Des systèmes très perfectionnés de contrôle et de commande sont utilisés dans les oléoducs et autres réseaux de distribution. La surveillance et la commande des moteurs pour améliorer le rendement de la combustion constituent une autre application importante des microprocesseurs.

3. Energie nucléaire. Le problème principal est celui de la sûreté. On peut se servir de microprocesseurs pour la surveillance et pour permettre l'usage d'appareils à sécurité intrinsèque. Il en résulte qu'on peut employer du personnel moins qualifié, tout en conservant une bonne marge de sécurité.

#### C. Moyens de transport et produits

Dans ce secteur, les applications générales comprennent la surveillance de la consommation et du rendement du combustible, le contrôle et la commande de réseaux de chemin de fer et le contrôle de la circulation aérienne au voisinage des aéroports. En voici quelques exemples :

1. Dans les trains, on constate des déficiences et des dommages dus aux différences d'accélération et de freinage entre roues. Un régulateur à microprocesseurs fondé sur la réaction de traction de chaque essieu permet de résoudre le problème.
2. Les conducteurs débutants ont tendance à causer des accidents tels que heurter un mur en marche arrière, envoyer un tracteur par-dessus une falaise, etc. On peut mettre au point une signalisation pour les avertir de ces dangers.
3. Les transports par eau et la pêche peuvent être rendus moins dangereux en plaçant à bord des calculateurs de profondeur qui déterminent le rythme de variation de celle-ci.

#### D. Produits utilisables dans les secteurs de l'agriculture, de la laiterie et du traitement des denrées alimentaires

1. On emploie les microprocesseurs pour réguler le calendrier et le débit de l'irrigation, pour commander les asperseurs ainsi que les roues des systèmes mobiles de façon à obtenir une irrigation régulière de la zone prévue.

2. La collecte, la manutention, la pasteurisation et le stockage du lait exigent un personnel qualifié pour obtenir du lait de haute qualité et sans danger pour la santé, avec une faible proportion de lait avarié. Dans les pays en développement, il y a encore pénurie de personnel qualifié. On peut éviter ce problème par l'emploi de microprocesseurs dans de nombreuses phases d'un processus de traitement ou de pasteurisation du lait. Toutes les fonctions, y compris le nettoyage et la désinfection des appareils, peuvent être commandées de cette façon. Cette méthode de manutention automatique est disponible aux États-Unis, sans incorporation de microprocesseurs, mais, sous sa forme actuelle, elle ne convient pas aux pays en développement.
3. On peut aussi se servir de microprocesseurs pour contrôler et réguler la traite. Parmi les techniques disponibles, on peut citer :
  - 3 a) Des capteurs de stalle pour réguler l'envoi d'eau tiède sur le pis, afin d'augmenter la production de lait.
  - 3 b) Des capteurs pour mesurer la quantité et la teneur en matières grasses du lait, pendant la traite et au moment de la commercialisation.
4. Les avaries sont un problème toujours présent pendant le transport, le stockage et le traitement des céréales et autres produits alimentaires; il est encore plus grave dans les pays tropicaux.

On peut citer plusieurs exemples d'applications possibles des microprocesseurs dans cet important domaine :

- 4 a) Une teneur élevée des grains en humidité provoque des avaries et peut rendre le traitement difficile, même en l'absence d'avarie. Le recours aux microprocesseurs permet de faire mesurer la teneur en humidité par un personnel non qualifié. Les appareils actuellement sur le marché sont d'un usage difficile, sont coûteux et inexacts parce qu'ils ne tiennent pas compte de toutes les variables en jeu.
- 4 b) Lorsqu'on stocke de grandes quantités de céréales, on les déplace souvent d'un silo à l'autre pour éviter l'élévation de température qui provoquerait rapidement des avaries. Il en résulte une abrasion des grains qui, à son tour, peut être une cause d'avaries. Le rythme de l'opération se fonde en général soit sur le jugement de l'opérateur, soit sur la mesure de la température de la masse au moyen de thermocouples, qui sont souvent inexacts. Les microprocesseurs

permettent de lire, d'enregistrer des lectures, de les comparer avec les lectures antérieures et les modifications des conditions ambiantes et d'automatiser les déplacements. Les avantages seraient de réduire au minimum l'abrasion et les avaries ainsi que l'énergie utilisée pour faire passer les céréales d'un silo à un autre.

- d) Les boîtes à conserves doivent être revêtues intérieurement de matière plastique ou d'émail. L'intégrité de ce revêtement doit être vérifiée avant remplissage pour éviter les avaries. On met actuellement au point, aux Etats-Unis, des appareils automatiques de vérification utilisant les microprocesseurs. On a besoin d'un appareil simple de ce genre, facile à utiliser, pour l'employer et éventuellement le fabriquer dans d'autres pays.
5. Contrôle de la qualité des produits alimentaires et commande des processus de fabrication. Les microprocesseurs sont déjà utilisés pour des processus tels que la pasteurisation, la cuisson et la mise en boîtes. On obtient une meilleure qualité et des rendements plus réguliers. Il est relativement simple de contrôler et de commander des paramètres tels que la température, la durée, l'humidité et la teneur en eau du produit final. Il est probable que ces paramètres sont particulièrement critiques pour certains processus de biologie industrielle tels que la fermentation.
6. On peut également réaliser des appareils pour déterminer la qualité des produits mis sur le marché (nous avons déjà parlé du lait; on peut y ajouter la teneur en humidité du riz) et pour en déduire leurs prix.
7. On peut se servir d'appareils contrôlant les paramètres critiques de l'eau dans les étangs de pisciculture, en vue d'accroître les rendements.

E. Produits pouvant aider à améliorer la fourniture de services dans le domaine de l'hygiène et de la médecine

L'automation de nombreuses fonctions touchant l'hygiène et la médecine, déjà possible avec la technologie actuelle des microprocesseurs, permet d'employer de façon plus efficace le personnel médical qualifié et de réaliser de grandes économies. On peut ainsi fournir des services d'un niveau élevé dans des zones où l'on manque de personnel qualifié. Parmi les domaines où l'automation fondée sur l'emploi de microprocesseurs est utilisable par les pays en développement, on peut citer :

1. Surveillance de malades et essais. Un capteur permet, au moyen d'une prise de sang au bout du doigt, de mesurer la tension artérielle, le rythme respiratoire, la température et le pouls; un petit appareil fixé à la poitrine suffit pour le contrôle du coeur. Autres emplois : analyses du sang, surveillance des foetus par les ultrasons.
2. Commande des appareils de maintien en vie et d'autres éléments d'équipement. Poumons artificiels, appareils respiratoires et fauteuils roulants.
3. Automation du matériel de laboratoire à un usage clinique. Analyses chimiques du sang et des gaz dissous, autres paramètres hématologiques, paramètres cardiaques. Appareils permettant de faciliter la lecture de radios.
4. Mise au point d'auxiliaires auditifs à bon marché.

- - - - -

