



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th 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 for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

18880

Distr. LIMITEE

IPCT.134(SPEC.)
5 mars 1991

FRANCAIS
Original: ANGLAIS

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Atelier régional africain sur les matériaux
nouveaux et traditionnels pour le développement
Abidjan, Côte d'Ivoire
8-12 avril 1991

TECHNOLOGIES DE REMPLACEMENT POUR LA TRANSFORMATION
DES MATIERES PREMIERES*

* Traduction d'un document n'ayant pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

V.91-22346(EX)

0/40

PREFACE

Chacun admet, un peu partout dans le monde, que tous les pays ont de grands avantages à attendre de la transformation des matériaux conventionnels produits ou extraits sur leur propre sol. Une grande partie des efforts déployés par les pays africains l'ont été dans ce but. Cela étant, la nécessité s'impose d'une diversification et d'efforts soutenus, ne serait-ce que pour trouver des technologies conventionnelles à rendement élevé qui permettront de transformer une large gamme de matériaux conventionnels locaux et, ainsi, de dégager de la valeur ajoutée.

La présente étude, qui s'inspire de cette approche, a été élaborée par l'ONUDI en vue de l'Atelier régional africain sur les matériaux nouveaux et traditionnels pour le développement, organisé du 8 au 12 avril 1991 à Abidjan (Côte d'Ivoire). L'étude présente un certain nombre de technologies de remplacement destinées à la transformation des matériaux conventionnels, en fonction d'une analyse qui fait apparaître les différents facteurs à mettre en oeuvre pour réaliser des conditions optimales dans l'industrie africaine de la transformation des matériaux conventionnels. L'étude envisage également les opérations et les équipements auxquels fait appel la transformation des produits agricoles, des produits minéraux et des matériaux de construction. La partie principale de l'étude décrit les techniques de transformation de 30 matériaux classiques des secteurs mentionnés ci-dessus. Des mesures concrètes visant à mettre au point des stratégies pour la promotion des matériaux conventionnels, ainsi que des stratégies de formation des ressources humaines locales sont envisagées dans l'étude et pourraient servir de base à des discussions portant sur les diverses questions débattues au cours de l'atelier.

Dans ce contexte, l'expérience accumulée par l'ONUDI à l'égard des meilleurs moyens à mettre en oeuvre pour exploiter en Afrique les technologies de remplacement montre que la variable décisive est le développement des qualifications et le perfectionnement des personnels au moyen de l'éducation et de la formation. Pour l'acquisition des qualifications de tous niveaux, les priorités essentielles sont l'augmentation des crédits du budget national de l'éducation, le renforcement des programmes de formation, les stages à l'étranger pour l'étude des technologies des matériaux, les programmes menés en coopération avec d'autres pays en développement ainsi que la participation à des sociétés scientifiques internationales, des consortiums et autres associations d'ingénieurs spécialisées dans l'utilisation des matériaux conventionnels.

L'utilisation appropriée des matériaux conventionnels comprend la mise en oeuvre de matériaux nouveaux et simples pour la transformation de matières premières renouvelables telles que les minerais, le bois et les produits du bois en vue de la construction ou de l'industrie des produits alimentaires et des boissons, par exemple le cacao, le manioc, etc. Il en résulte que les scientifiques et les ingénieurs qui, dans les pays africains, s'occupent des matériaux ont besoin d'être versés dans un grand nombre de disciplines pour pouvoir conduire des recherches scientifiques relatives aux matériaux conventionnels et à leur exploitation au niveau des entreprises. Cette approche interdisciplinaire a bénéficié de toute l'attention de l'ONUDI dans le cadre de programmes de recherche et développement, menés aussi bien par les pays développés que par les pays en développement et associant pouvoirs publics, universités et milieux industriels.

L'ONUDI tient à remercier le Conseil nigérian de la recherche et du développement sur les matières premières pour la part qu'il a prise à l'élaboration de l'étude de l'ONUDI et pour avoir proposé une approche pratique de l'utilisation des technologies de remplacement en vue de la transformation des matériaux conventionnels en Afrique.

On espère que cette étude constituera un instrument à la fois pratique et utile en vue de l'utilisation et, éventuellement, de nouvelles applications des technologies mises en oeuvre pour la transformation des matériaux conventionnels en Afrique.

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
<u>SECTION I</u>	
Introduction : notion de technologies de remplacement pour la transformation des matières premières	1
<u>SECTION II</u>	
Procédés et équipements de transformation	2
A) Matières premières d'origine agricole	3
B) Matières premières d'origine minérale	7
C) Matériaux de construction	11
Etude de cas : capacité locale pour la conception et la fabrication d'équipements de transformation des matières premières au Nigéria	11
<u>SECTION III</u>	
Technologies de transformation de certaines matières premières	13
A) Matières premières d'origine agricole	13
B) Matières premières d'origine minérale	21
B1) Minerais non métalliques	21
B2) Minerais métalliques	25
C) Matériaux de construction	28
<u>SECTION IV</u>	
Stratégies de formation des ressources humaines locales participant à l'exploitation des matières premières	33
<u>SECTION V</u>	
Stratégies destinées à permettre aux pays africains de bénéficier de la transformation locale de leurs matières premières	35
<u>REFERENCES</u>	37
<u>SOURCE DES FIGURES</u>	37

SECTION I

INTRODUCTION : NOTION DE TECHNOLOGIES DE REMPLACEMENT POUR LA TRANSFORMATION DES MATIERES PREMIERES

Dans les pays développés, les matières premières sont transformées dans de grandes entreprises dotées d'équipements modernes de mesurage et de réglage. La plupart des procédés ont été mécanisés, et avec l'apparition de l'ordinateur l'ouvrier non qualifié a de moins en moins sa place dans l'industrie de transformation.

A la condition que les entreprises soient exploitées dans des conditions optimales, il ne fait pas de doute que l'automatisation de l'outillage de fabrication se traduit par des gains de rendement. Cependant, en Afrique, de nombreuses entreprises importantes ne fonctionnent pas dans des conditions optimales, et cela pour diverses raisons :

- i) Qualification insuffisante des conducteurs de machines.
- ii) Mauvais fonctionnement ou arrêt de marche des installations de production s'expliquant par :
 - a) la non-disponibilité des pièces de rechange sur le marché local.
 - b) le manque de crédits pour l'achat de pièces de rechange.
 - c) le manque des compétences nécessaires pour l'entretien des équipements.
- iii) Manque de fonds pour l'achat des matières premières en grandes quantités.
- iv) Pénurie de compétences pour la planification et la gestion des opérations de production à grande échelle.
- v) Manque des infrastructures nécessaires, qu'il s'agisse de l'approvisionnement régulier en énergie électrique, de l'approvisionnement en eau, du réseau routier, du système de communications, etc.

C'est pourquoi il n'est pas rare de voir en Afrique des usines de transformation qui fonctionnent à 20% de la capacité installée ou moins. Cet ensemble de faits, joint aux énormes frais de premier établissement, découragent l'investissement dans l'industrie transformatrice à grande échelle. D'où la nécessité de mettre au point des techniques dépendant moins des technologies de pointe et pouvant faire appel à l'important réservoir de main-d'oeuvre non qualifiée que l'on trouve en Afrique. Si l'on veut développer ces techniques, il importe de bien noter que la conception des différents équipements automatisés que l'on trouve dans les grandes unités industrielles de transformation s'inspire des mêmes principes que ceux auxquels fait appel l'artisanat, qu'il s'agisse de simples casseroles, de cuvettes, de couteaux, de meules, de mortiers, de vannerie, de bacs à fermentation et des divers calorifères. La principale différence entre le niveau artisanal et l'échelle industrielle réside dans le degré de mécanisation et d'automatisation de cette dernière.

Deux approches peuvent être retenues pour l'élaboration de technologies de rechange destinées à la transformation des matières premières. Dans le premier cas, les procédés artisanaux sont d'abord étudiés, des machines simples étant ensuite introduites au fur et à mesure des besoins. Avec la

seconde approche, c'est le procédé industriel que l'on commence par retenir, après quoi l'on engage les ouvriers et l'on fabrique des machines simples pour remplacer lorsque c'est possible les appareillages complexes. Les deux approches impliquent la mise au point et la fabrication d'éléments mécaniques simples. L'une et l'autre exigent en outre une parfaite compréhension des procédés mis en oeuvre aux différentes étapes de la transformation des matières premières en semi-produits ou produits finis. C'est dans cet esprit que les technologies transformatrices les plus couramment utilisées, et leur équipement, sont brièvement envisagés à la section II. On trouvera à la fin de cette section une étude de cas concernant les capacités locales de conception et de fabrication d'équipements au Nigéria.

A la section III dix technologies de remplacement relevant de chacun des trois secteurs envisagés (produits agricoles, produits d'origine minérale et matériaux de construction) sont discutées en privilégiant les nouvelles applications possibles et les modalités d'une bonne utilisation. Ce choix a été retenu afin d'embrasser tout l'ensemble des technologies, depuis le niveau de la production artisanale jusqu'au niveau de la petite et moyenne industrie. Si l'on a procédé ainsi c'est pour tenir compte des différents niveaux de développement industriel rencontrés dans les pays africains. Les besoins en matière de formation sont envisagés à la section IV, tandis que la dernière section résume les recommandations formulées à diverses occasions au sujet des stratégies que pourraient mettre en oeuvre les pays d'Afrique pour tirer parti de la transformation de leurs matières premières sur leur propre sol. Cette étude, bien loin d'être complète, ne cherche qu'à susciter l'intérêt pour l'utilisation optimale des matières premières disponibles localement.

SECTION II

PROCEDES ET EQUIPEMENTS DE TRANSFORMATION

La valorisation des matières premières implique le plus souvent une transformation physique et chimique des matériaux.

Parmi les opérations auxquelles fait appel la transformation des matières premières d'origine agricole figurent le nettoyage, le lavage, l'égrenage, le battage, l'écossage, le pelage, le décorticage, la fragmentation, le chauffage, le refroidissement, l'extraction, le filtrage, l'égouttage, la distillation, la fermentation et le mélange.

D'une manière générale, les matières premières d'origine minérale sont transformées soit par valorisation (en vue d'accroître la valeur en pourcentage des principaux composants) soit par transformation directe en d'autres formes de substances chimiques. C'est ainsi que le kaolin est valorisé en porcelaine et la galène en plomb, zinc, argent et soufre.

L'extraction, la valorisation et la transformation chimique des matières premières d'origine minérale sont des activités à haute intensité capitaliste. Ces opérations sont exécutées de préférence à proximité des gisements étant donné qu'une forte proportion des produits extraits est souvent constituée de matériaux siliceux sans valeur. Les principaux procédés auxquels fait appel la transformation des produits d'origine minérale sont le nettoyage, le concassage, le broyage, le séchage, l'épaississement, le filtrage et l'égouttage.

A) Matières premières d'origine agricole

Pesée

La pesée est une partie essentielle de la transformation. Il existe de nombreux modèles de balances ou de bascules sur le marché et les pays africains ont déployé beaucoup d'ingéniosité pour proposer des modèles locaux de ces appareillages. Toutefois, le système simple à levier trouve encore des applications, surtout lorsqu'il s'agit de peser des matières solides en grandes quantités.

Nettoyage

Traditionnellement, la poussière des matières premières est enlevée en soufflant à la bouche ou en s'aidant du vent. Les pierres sont enlevées par les femmes et les enfants. Des épierreurs et des dépoussiéreurs de type industriel ont été adaptés par un grand nombre de pays africains à l'intention de la petite industrie.

Lavage

Les matériaux d'origine agricole et minérale peuvent être lavés à l'eau courante ou au bord des cours d'eau. La figure 2 représente un dispositif simple pour le lavage. Des substances chimiques peuvent être ajoutées à l'eau de lavage, comme cela se pratique pour la préparation des légumes.

Egrenage

L'égrenage du maïs est une opération fastidieuse qui était jadis confiée aux enfants et aux femmes dans les villages. Divers appareils ont été mis au point pour faciliter l'opération. L'un d'eux est représenté à la figure 2.

Battage

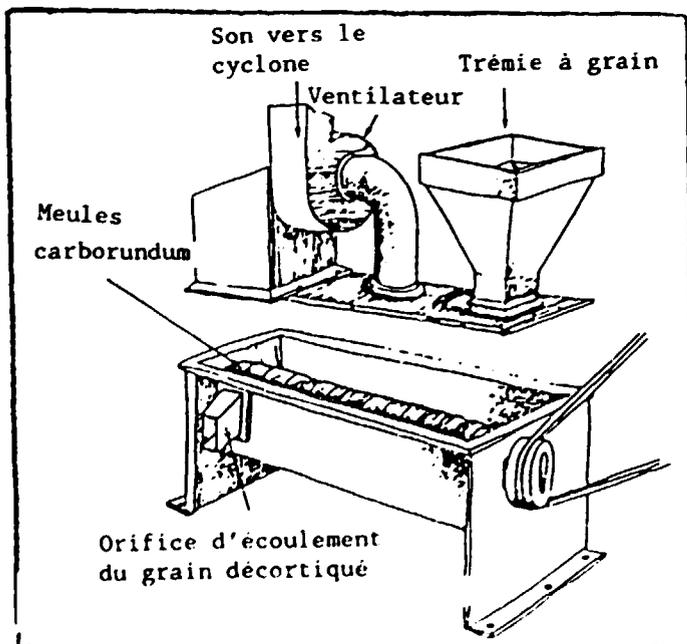
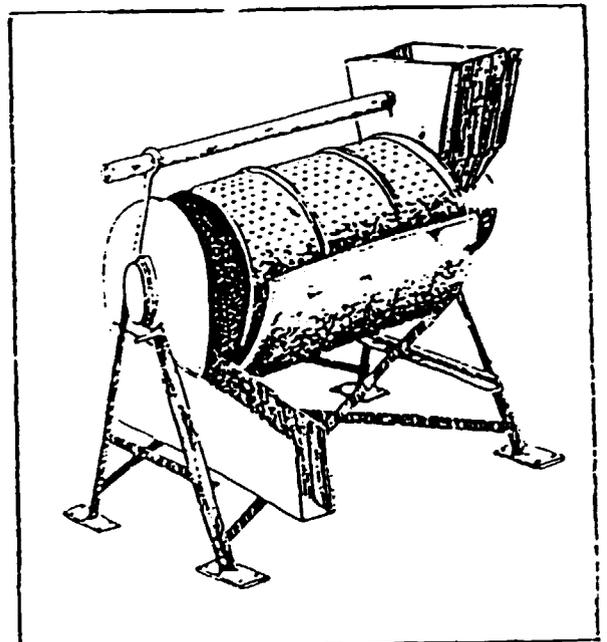
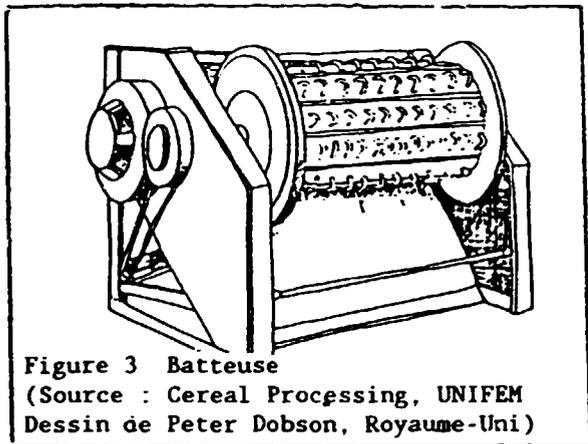
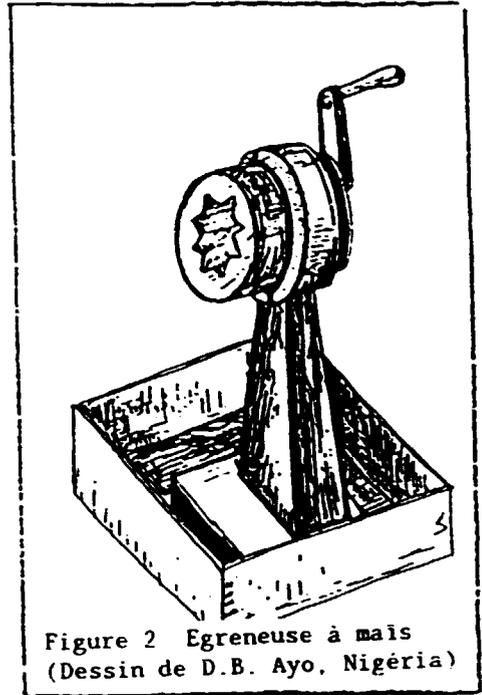
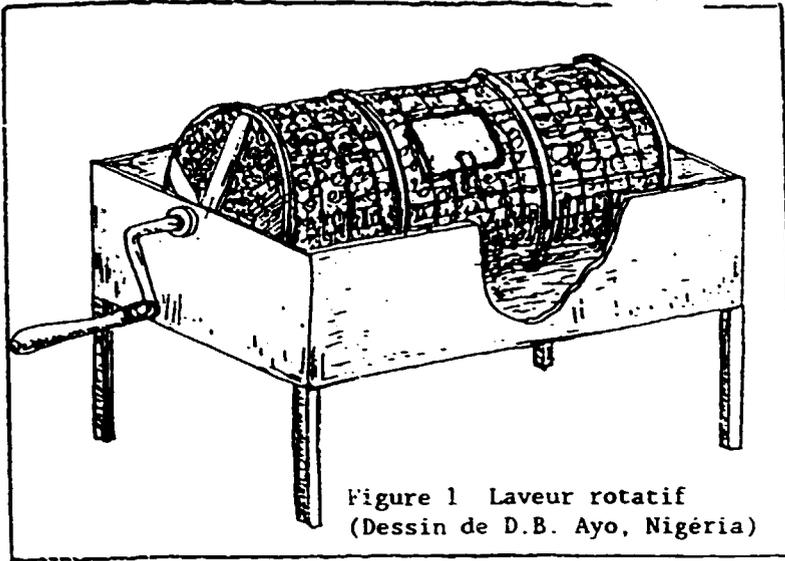
Traditionnellement, les céréales telles que le mil sont battues en battant la gerbe contre le sol ou contre des souches d'arbre. Les batteuses mécaniques (figure 3) sont largement utilisés dans les pays d'Afrique.

Ecossage, concassage des noyaux et décorticage

Les gousses et les coques sont ouvertes dans les villages à l'aide de pierres. Les arachides sont décortiquées à la main, ou parfois avec les pieds. Si les cabosses sont encore surtout traitées manuellement, les industries transformatrices d'Afrique font désormais largement appel aux concasseurs et aux décortiqueuses.

Pelage

Le pelage des fruits et des tubercules est largement pratiqué à la main, à l'aide de couteaux. La petite et la moyenne industrie font aujourd'hui appel à des appareillages simples pour peler pommes et tubercules. La figure 4 représente une machine à peler les tubercules. En raison de la forme irrégulière des tubercules, le procédé entraîne un gaspillage important.



Décorticage

Traditionnellement, les céréales sont décortiquées et vannées en faisant rouler des rondins contre les grains répandus sur des nattes. On laisse ensuite au vent le soin de séparer la balle du grain. La figure 5 représente une décortiqueuse/tarare de conception simple qui est une adaptation du matériel utilisé dans la grande industrie dans les pays développés.

Fragmentation

Le broyeur à marteaux et le broyeur à boulets servent à broyer finement. La figure 6 représente un broyeur à boulets utilisé dans l'industrie moderne et la figure 7 une adaptation locale de ce matériel. Le broyeur à disques et le broyeur à marteaux ont également été adaptés pour l'utilisation locale.

Chauffage

Les matériaux peuvent être chauffés pour diverses raisons, soit pour les faire sécher, les griller, les frire, etc. La figure 8 représente un séchoir rotatif industriel et la figure 9 une adaptation locale de ce même appareil. Pour le grillage, le tambour peut être rempli de sable.

Le séchage des poissons s'accompagne parfois de fumage. Divers modèles de séchoirs/fumoirs à poissons sont utilisés en Afrique.

Casseroles et bouilloires sont très employées pour bouillir et cuire à la vapeur. La petite industrie fait appel à des modèles améliorés de ces ustensiles.

Le groupe évaporatoire à effets multiples qui fait appel aux différentiels de pression et au transfert de chaleur et de masse est utilisé dans le monde développé pour l'évaporation et la cristallisation. Dans les villages, on fait appel au séchage à cuve ouverte. On a une version améliorée de la technique villageoise avec l'évaporateur solaire.

Refroidissement

Les matériaux peuvent être refroidis par le vent ou l'eau courante. Les techniques modernes de refroidissement font appel à des réfrigérants. La technique locale emploie des appareillages simples inspirés de la théorie du refroidissement par évaporation.

Extraction

Traditionnellement, on extrait les huiles des amandes et des graines en les pilant au mortier ou en les exprimant manuellement. La vis sans fin (expeller) a été adaptée pour l'utilisation locale. Les essais d'adaptation de la presse à cabosses servant à l'extraction du beurre de cacao n'ont pas rencontré beaucoup de succès. Les filtres-presses sont largement utilisés pour la filtration de l'huile. La figure 10 représente un filtre-pressé industriel et la figure 11 une adaptation locale de ce même appareil.

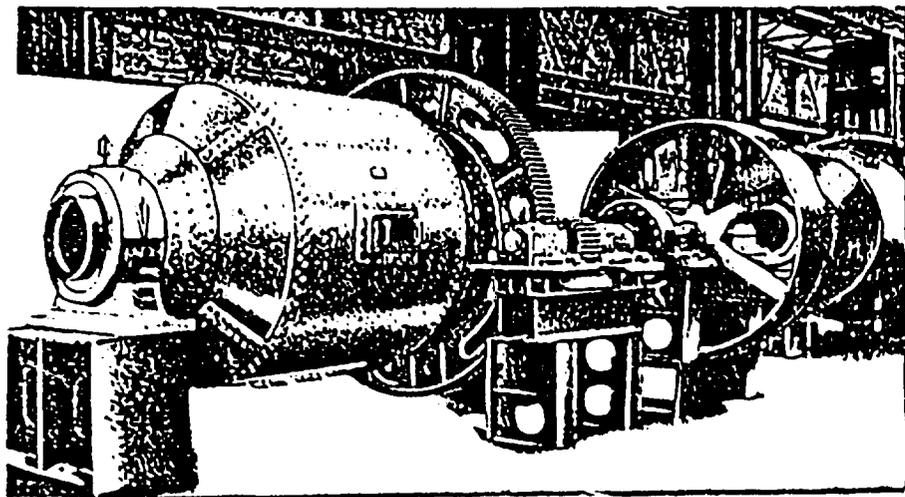


Figure 6 Broyeur à boulets industriel
 (Source : Chemical Engineering, Coulson and Richardson)

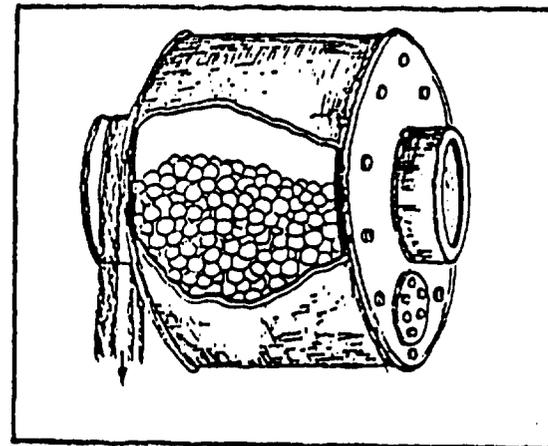


Figure 7 Adaptation locale de broyeur à boulets
 (Dessin de D.B. Ayo, Nigéria)

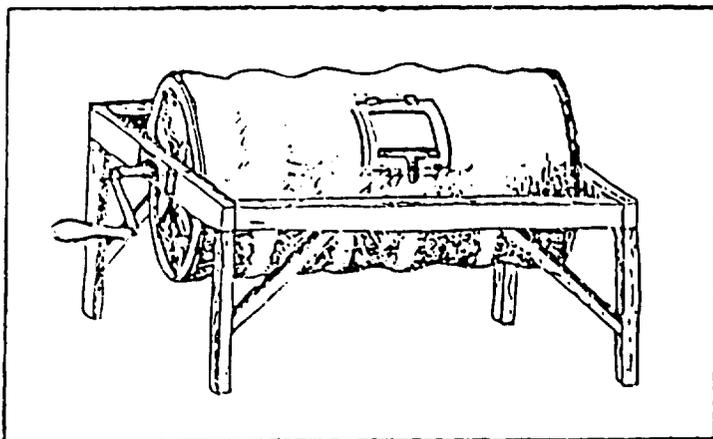


Figure 9 Adaptation locale de séchoir rotatif
 (Dessin de D.B. Ayo, Nigéria)

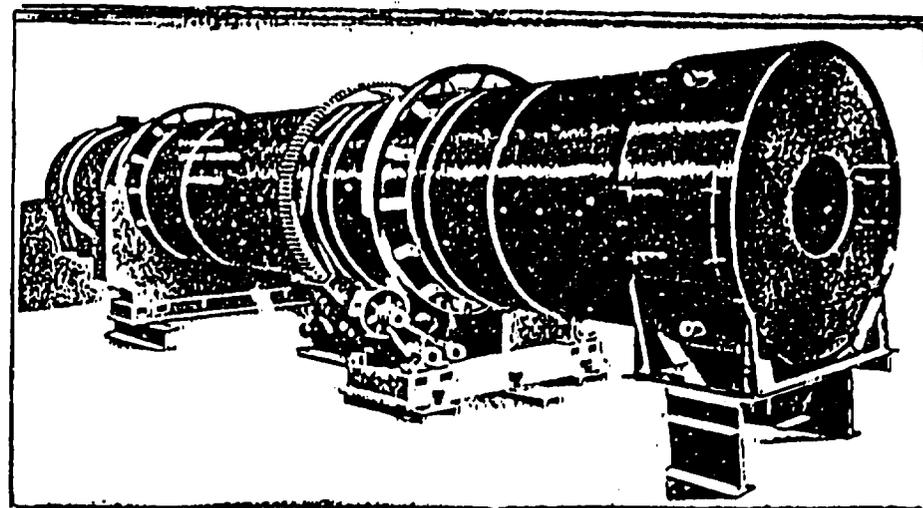


Figure 8 Séchoir rotatif industriel
 (Source : Chemical Engineering, Coulson and Richardson)

Purification de l'eau

Les installations de traitement de l'eau occupent une place importante dans l'industrie de la transformation des produits alimentaires. L'eau peut être traitée par ébullition et filtration à travers un lit de sable et de gravier (figure 11b).

Déshydratation

Traditionnellement, on déshydrate les tubercules et les grains en plaçant des objets pesants (des pierres par exemple) sur le produit emballé dans des sacs poreux. Diverses méthodes plus perfectionnées sont désormais largement utilisées. La figure 12 représente une presse mécanique servant à déshydrater le manioc. Les presses hydrauliques sont aujourd'hui largement utilisées en Afrique.

Distillation

L'artisanat et l'industrie font appel à divers types de matériel servant à la distillation. Une meilleure compréhension du procédé a permis à de nombreux organismes africains se consacrant à la recherche et au développement de concevoir des appareils simples et efficaces adaptés au milieu africain. La figure 13 représente un appareil à distillation utilisé dans les villages et la figure 14 une installation moderne de distillation des produits pétroliers.

Fermentation

Les récipients spécialement destinés à la fermentation peuvent recevoir divers produits. Toutefois, la technologie peut être simplifiée. La fermentation aérobie se produit dans des paniers recouverts de sacs, tandis que la fermentation anaérobie se produit dans des récipients étanches à l'air.

Malaxage

Plusieurs modèles de mélangeurs sont utilisés dans l'industrie de la transformation des matières premières. Il s'agit notamment de tambours rotatifs et de divers modèles à agitateur. Le malaxage s'accompagne fréquemment d'opérations de chauffage. La conception et la fabrication des différents modèles de mélangeurs sont bien connues des ingénieurs et des techniciens africains.

B) Matières premières d'origine minérale

Nettoyage

Le nettoyage est important pour la purification des matériaux et la granulométrie. C'est ainsi que les contaminants qui altèrent les couleurs et les taches absorbées sur les particules d'argile sont éliminés au cours du processus de nettoyage. Ce dernier peut faire appel à des techniques modernes telles que la flottation à la mousse et la séparation magnétique à haute intensité. Un procédé plus simple fait appel au lavage à l'eau dans des récipients agités à la main ou des laveurs à tambour rotatif.

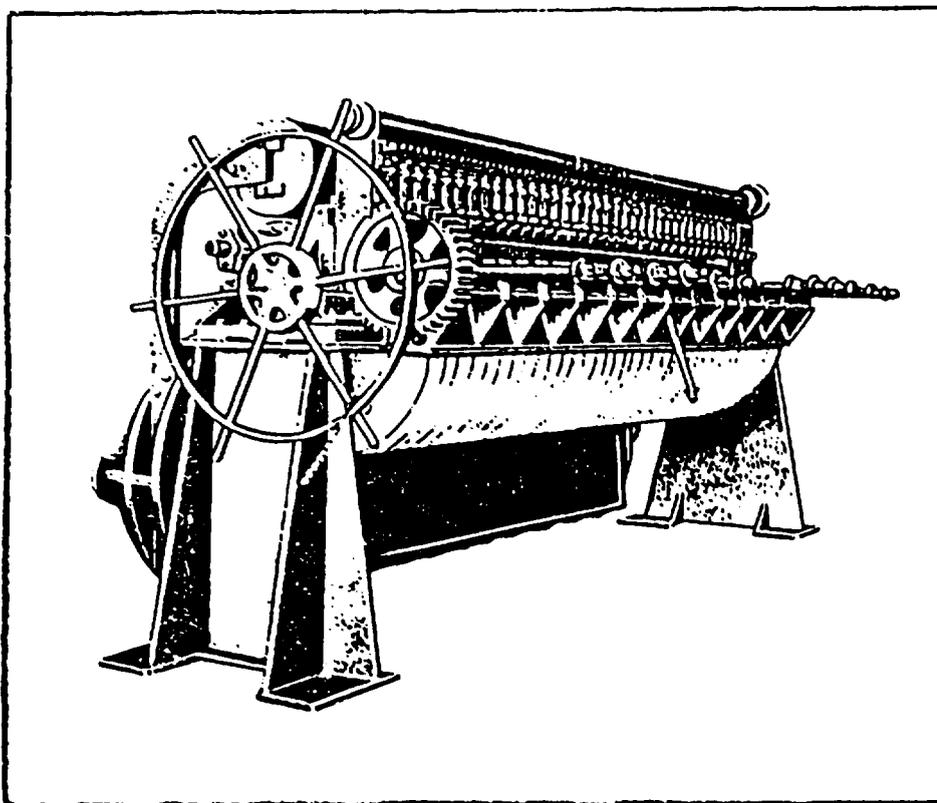


Figure 10 Filtre-presse industriel
(Source : Chemical Engineering, Coulson and Richardson)

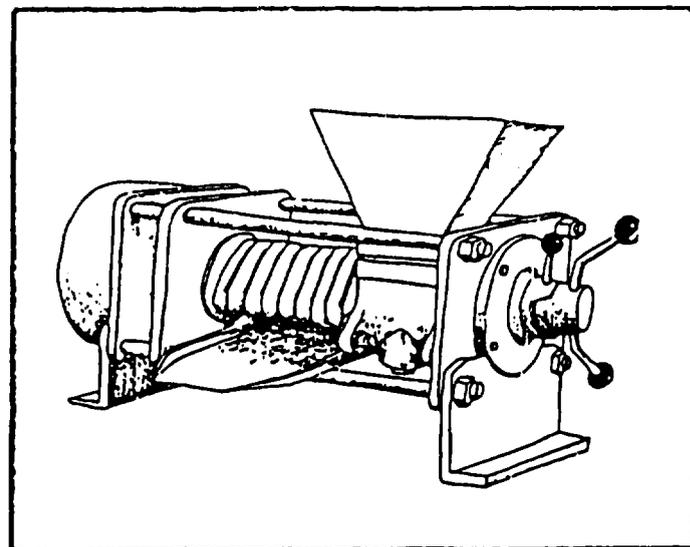


Figure 11 Adaptation locale de filtre-presse
(Dessin de Peter Dobson, Royaume-Uni)

Concassage

Traditionnellement, les matériaux volumineux d'origine minérale sont concassés au moyen de marteaux ou de lourdes pierres. Il arrive aussi qu'on les laisse tomber de haut ou qu'on les projette contre des surfaces dures (pierres par exemple) pour les casser en plus petits morceaux. La plupart des concasseurs à mâchoires sont importés. Toutefois, on trouve aujourd'hui des modèles locaux de concasseurs à mâchoires, de broyeurs à marteaux et de broyeurs à boulets.

Calcination

La calcination est généralement pratiquée à des températures atteignant 1300°C. Les points les plus importants à retenir lorsqu'on conçoit les fours sont la répartition de la chaleur et l'aptitude des matériaux réfractaires à résister à la température. On trouve de nombreux matériaux réfractaires en Afrique et les fours destinés à la calcination des matières minérales ont été adaptés aux nécessités des opérations locales.

Séchage

Bien que le séchage soit effectué à des températures inférieures à celles de la calcination, la nature de certains matériaux exige que l'on fasse appel à du matériel de séchage spécialisé tel que les sècheurs à pulvérisation. La plupart, pour ne pas dire la totalité des fabricants africains ne sont pas actuellement en mesure de fabriquer des pulvérisateurs.

Epaississement

Les centrifugeuses à buses à grande vitesse utilisées pour les opérations d'épaississement par l'industrie moderne conviennent aux fines fractions d'argile, extrêmement diluées et à vitesse de sédimentation très faible. Toutefois, pour de nombreuses opérations d'épaississement, on peut se contenter de cuves à sédimentation ordinaires, bien que le processus soit plus lent et exige davantage de main-d'oeuvre.

Filtration

On a recours à la filtration pour l'épuisement des matières minérales, surtout après lavage. Dans le cas des matériaux à faible perméabilité de gâteau, le matériel de filtration utilisé comprend les presses à cadres et à plateaux ainsi que les filtres sous vide à tambour rotatif. Dans d'autres cas, les opérations de filtration peuvent être réalisées avec du matériel plus simple fonctionnant à la pression atmosphérique.

Meulage (abrasion)

Après la taille, les pierres précieuses sont polies de manière à obtenir la dimension et la forme désirées. Si l'on peut obtenir l'effet voulu en frottant la pierre contre une surface rugueuse plus dure, avec les adaptations locales des appareils modernes c'est la surface rugueuse qui est en rotation tandis que l'on appuie les pierres précieuses contre cette surface.

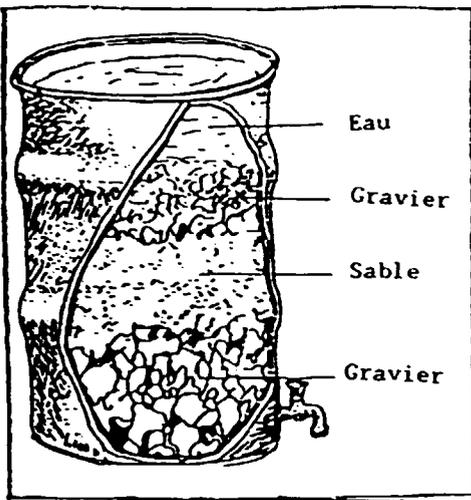


Figure 11 Filtre à eau
(Dessin de D.B. Ayo)

Figure 12 Appareil à déshydrater le manioc
(Dessin de D.B. Ayo, Nigéria)

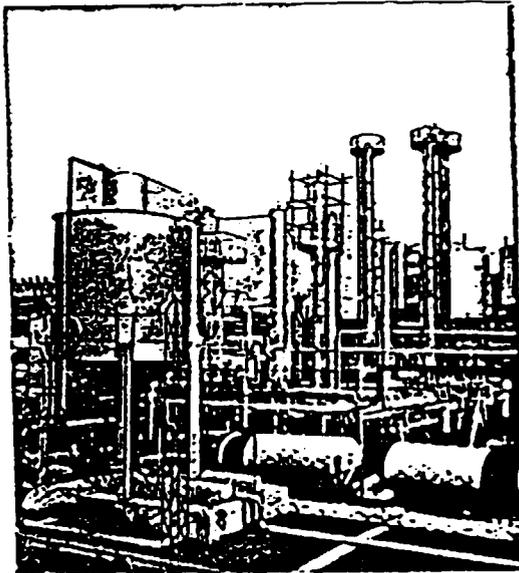
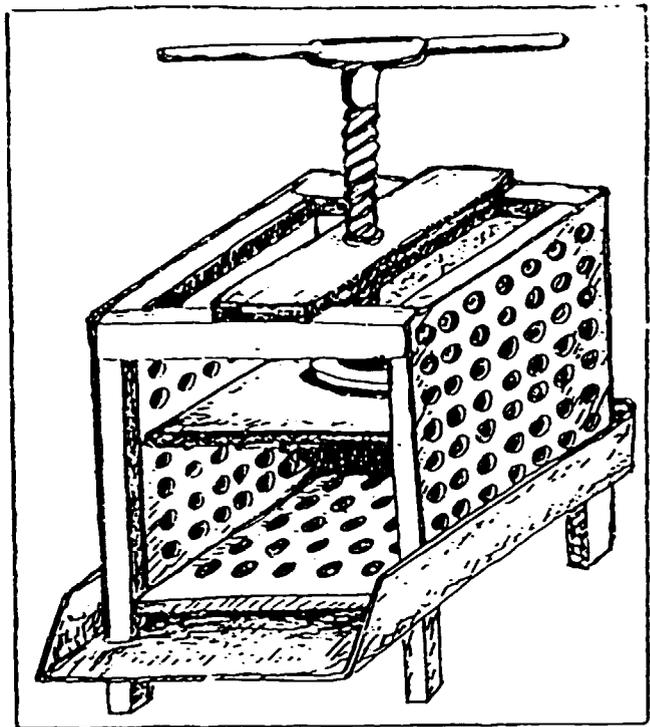


Figure 14 Installation industrielle pour la distillation des produits pétroliers
(Source: The New Caxton Encyclopedia)

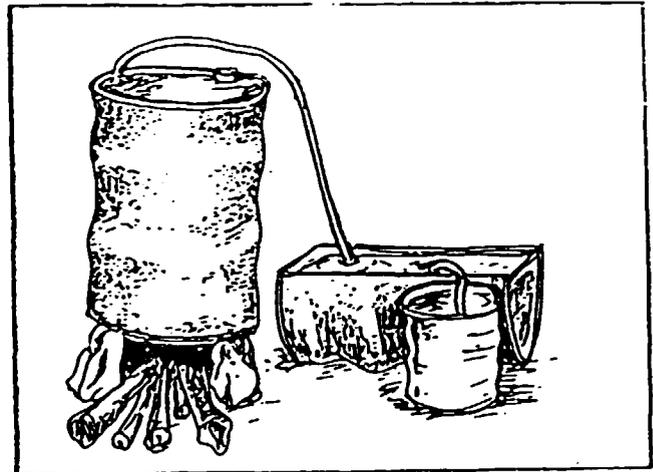
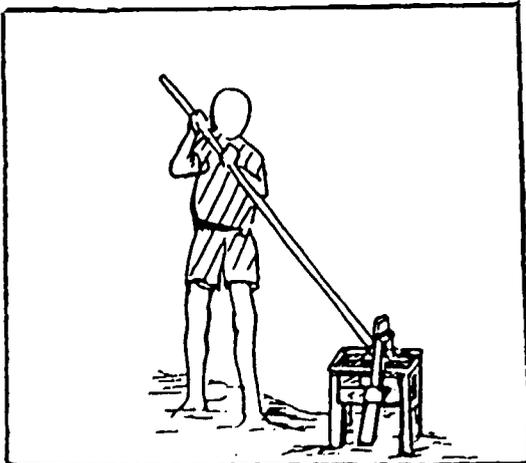


Figure 13 Distillation d'alcool au village
(Dessin de D.B. Ayo, Nigéria)

Figure 16 Préparation d'une armature en treillis pour béton armé en bambou
(Source: Village Technology Handbook, VITA)

Figure 15 Presse manuelle pour la fabrication des parpaings
(Dessin de D.B. Ayo)



C) Matériaux de construction

Les principaux procédés utilisés pour la transformation/mise en oeuvre des matériaux de construction sont le broyage, le malaxage, l'aspersion (ou l'application à la brosse), le moulage et la cuisson au feu.

Concassage

Le matériel de concassage est semblable à celui que l'on a décrit à la rubrique de la transformation des matières premières minérales. Certains concasseurs sont spécifiquement étudiés pour les fouilles. Un certain nombre de ces concasseurs sont fabriqués sur place en Afrique.

Malaxage

Le malaxage des graviers, du sable, des ciments et autres agrégats s'effectue à la main au moyen de pelles, de seaux et autres équipements simples. Aujourd'hui, les mélangeurs à béton sont très utilisés sur les chantiers de construction. Si une bonne partie de ces matériels sont importés, la technologie est suffisamment simple pour que l'on puisse les fabriquer sur place.

Moulage

Divers modèles de matériel de moulage sont en usage. Le matériel de moulage en bois, fonctionnant à la main, est communément utilisé pour la fabrication des briques. Pour les briques mécaniques, il faut faire appel à des presses à briques. Des presses hydrauliques de diverses formes ou dimensions sont également utilisées pour la fabrication des parpaings. Une presse simple à main est représentée à la figure 15.

Cuisson au feu

Les briques sont cuites dans des fours semblables à ceux qui ont été décrits à la rubrique de la transformation des matières premières minérales.

ETUDE DE CAS : CAPACITE LOCALE POUR LA CONCEPTION ET LA FABRICATION D'EQUIPEMENTS DE TRANSFORMATION DES MATIERES PREMIERES AU NIGERIA

En 1989, le Conseil de la recherche et du développement pour les matières premières (Nigeria) a fait l'inventaire des technologies et des équipements disponibles pour la transformation des matières premières d'origine minérale et agricole au Nigeria.

Le matériel de transformation des matières premières agricoles, de fabrication locale, comprend les équipements suivants : broyeurs à boulets, broyeurs à marteaux, broyeurs à rouleaux, broyeurs à disques, broyeurs à plateaux, broyeurs à pointes et à disques, râpes, séchoirs (à plateaux, à compartiments, à tambour), coupeuses-déchiqueteuses, batteuses, concasseurs à noyaux, décortiqueuses, dégermeurs, égreneuses, vans, tarares, épierreurs, presses manuelles et hydrauliques (pour la déshydratation du manioc, l'extraction de l'huile, etc.), brûloirs, blutoirs, presses à vis (pour la déshydratation du manioc, l'extraction de l'huile, etc.), et appareils de chauffage solaires (fours, étuves, séchoirs, etc.). On trouve encore des laveurs à

tambour rotatif, des bandes transporteuses, des machines à plumer, des alambics, des cuves à fermentation, des machines à embouteiller, des congélateurs, des échangeurs de chaleur, des installations de maltage, des cuves de malaxage, des granulateurs, des pilons à igname, des pompes, des récipients à réaction, des centrifugeuses à bol perforé, des aspirateurs.

Les machines et appareils fabriqués localement pour la transformation des matières premières minérales comprennent : les concasseurs à mâchoires, les broyeurs à boulets et les broyeurs à marteaux; les mélangeurs et les malaxeurs pour le mélange des liquides; les mélangeurs pour le mélange des matières solides; les tamis vibrants et rotatifs; les cyclones et les hydrocyclones pour le classement par voie humide et sèche; les presses mécaniques et hydrauliques, les séchoirs; les fours, les cuves de stockage et les bacs de sédimentation; les silos pour le stockage en vrac; les extrudeuses; les bandes transporteuses et les élévateurs; ainsi que le matériel de pesée et d'ensachage semi-automatique pour le conditionnement.

Si l'on compte dans le pays de nombreux fabricants d'équipements destinés à la transformation des produits alimentaires, rares sont les sociétés qui se consacrent à la fabrication de machines/appareillages spécialement destinés à la transformation des matières premières minérales. On a recensé environ dix-neuf fabricants d'équipement ayant la capacité de fabriquer des installations complètes de traitement des minerais, tandis que plusieurs sont spécialisés dans la fabrication de certains équipements. L'une des principales contraintes auxquelles se heurte le développement rapide des machines/appareillages d'origine locale est la pénurie de matériaux de construction appropriés. Il en résulte que l'on est obligé d'improviser certaines pièces, d'où une durée de vie réduite et une moindre efficacité de l'équipement. La majorité des équipements fabriqués localement sont obtenus en reproduisant du matériel importé.

On a constaté que la plupart des machines/équipements destinés à la transformation des produits alimentaires peuvent, moyennant de légères modifications (notamment en ce qui concerne les matériaux de construction), être utilisés pour la transformation des matières minérales. En outre, l'équipement importé, dont différents types d'échangeurs de chaleur, de broyeurs, etc. peut, moyennant une coordination et une motivation suffisantes des ingénieurs et des techniciens locaux, être reproduit localement.

SECTION III

TECHNOLOGIES DE TRANSFORMATION DE CERTAINES
MATIERES PREMIERES

A) Matières premières d'origine agricole

Cacao

Les produits dérivés du cacao sont le beurre de cacao, la pâte de cacao et la poudre de cacao utilisés en chocolaterie et dans l'industrie des boissons, en confiserie et en biscuiterie, ainsi que pour la fabrication des cosmétiques et des produits pharmaceutiques.

Le cacao a un certain nombre d'autres utilisations, moins connues:

- * Production d'alcaloïdes à usage pharmaceutique à partir des graines;
- * Production de vin de cacao à partir des graines;
- * Production de teintures à partir des graines (y compris les graines déclassées);
- * Production de tourteaux de cacao;
- * Production de pain de cacao;
- * Production de boissons non alcoolisées et de pectine pour utilisation dans les gelées et les confitures;
- * Production de potasse pour la fabrication de savons doux à partir des écorces;
- * Production d'aliments pour le bétail à partir des écorces;
- * Utilisation des écorces comme engrais organique.

Deux de ces procédés sont décrits ci-après :

Produit : Alcaloïdes (théobromine et caféine)

Utilisation :
Produits pharmaceutiques.

Equipement :
Séchoir rotatif, chaudière, évaporateur, colonne à garnissage.

- Procédé :
- i) Extraction des graines humidifiées au moyen d'un solvant organique.
 - ii) Traitement à la vapeur pour éliminer le solvant résiduel.
 - iii) Évaporation du solvant.
 - iv) Extraction de la caféine à partir des cires avec de l'eau.
 - v) Décoloration au carbone
 - vi) Recristallisation.

Produit :
Vin de cacao

Equipement :
Broyeur à pointes, broyeur à boulets, vis sans fin, récipient pour l'extraction au solvant, évaporateur, cuve de fermentation.

Procédé :
i) Broyage des amandes.
ii) Extraction des graisses.
iii) Concentration de l'extrait.
iv) Fermentation.

Gingembre

Les produits à base de gingembre sont encore importés sur les marchés africains. La production de deux de ces produits est décrite ci-après :

Premier produit :
Poudre de gingembre.

Utilisation :
Fabrication des biscuits, fabrication des crèmes glacées, condiments.

Equipement :
Machine à laver, séchoir, broyeur à marteaux, broyeur à disques, tamis.

Procédé :
i) Lavage du gingembre.
ii) Séchage du gingembre.
iii) Elimination du rebut.
iv) Broyage.
v) Tamisage et broyage des particules volumineuses.

Second produit :
Huile essentielle de gingembre et oléorésine de gingembre.

Utilisation :
Production de concentrés pour les boissons non alcoolisées, confiserie, produits pharmaceutiques, épices, sauces.

Equipement :
Broyeur à marteaux, broyeur à disques, tamis, colonne d'extraction, appareillage de filtration, évaporateur, appareillage de décantation.

Procédé :
i) Lavage.
ii) Broyage.
iii) Tamisage et rebroyage des particules volumineuses.
iv) Extraction à l'acétone.
v) Aération.
vi) Evaporation.
vii) Décantation des huiles essentielles (couche supérieure) et extraction de l'oléorésine.

Sorgho

Le sorgho est utilisé en Afrique pour la production de pain sans levain, de pain au levain, de porridge, de produits étuvés, de produits bouillis et de boissons alcooliques. La transformation du sorgho en vue de la fabrication de ces produits comporte le battage, le décorticage, le vannage et le broyage. Une application industrielle du sorgho est décrite ci-après :

Produit :
Extrait de malt de sorgho.

Utilisation :
Production de bière (succédané d'extrait de malt d'orge).

Equipement :
Cuves de trempage, récipients de maltage, tambour rotatif de chauffage, presse (extracteur).

Procédé :

- i) Trempage dans l'eau froide.
- ii) Germination sous atmosphère contrôlée.
- iii) Arrêt de la croissance par chauffage.
- iv) Extraction sous pression.
- v) Conditionnement.

Os

Les os sont une bonne source de calcium pour les êtres humains. Les usages industriels des os comprennent la production de charbon actif, d'engrais et de colle d'os. Deux de ces produits sont décrits ci-après :

Premier produit :
Engrais d'os.

Utilisation :
Engrais, aliments pour la volaille, fabrication de gélatine.

Equipement :
Concasseur d'os, pulvérisateur, autoclave à pression.

Procédé :

- i) Concassage des os.
- ii) Cuisson sous pression.
- iii) Séchage.
- iv) Concassage.
- v) Tamisage et rebroyage.

Second produit :
Colle.

Utilisation :
Adhésifs à usages divers.

Equipement :
Concasseur d'os, pulvérisateur, pales pour chaulage, cuiseur, chaudière, filtre-
presse, évaporateur.

Procédé :

- i) Lavage.
- ii) Trempage dans l'acide chlorhydrique à 2-8%.
- iii) Dégraissage au benzène.
- iv) Cuisson dans l'eau.
- v) Filtration.
- vi) Séchage.
- vii) Pulvérisation.

Fruit du palmier à huile

Le palmier est la source de différents produits utiles parmi lesquels les balais, les cure-dents et les matériaux de toiture (confectionnés avec les palmes), les paniers, les cages à oiseaux et les clapiers (avec les tiges), les matériaux de construction (tronc), le vinaigre, le vin et les alcools (sève), les brosses, les paillassons, les thibaudes, les éléments de toiture, les carreaux, la potasse et les engrais organiques (mésocarpe fibreux), l'huile de palme (fruit) et l'huile de palmiste (amande de palme).

Premier produit :
Huile de palme.

Utilisation :
Huile de cuisine.

Equipement :
Cuiseur, presse à vis ou presse hydraulique, clarificateur.

Procédé :

- i) Parage des régimes.
- ii) Stérilisation du fruit du palmier.
- iii) Egrappage.
- iv) Cuisson.
- v) Digestion.
- vi) Extraction de l'huile.
- vii) Décantation.
- viii) Conditionnement (la fibre résiduelle sert de combustible).

Second produit :
Huile de palmiste

Utilisation :
Huile de cuisine.

Equipement :
Concasseur à noyaux, broyeur à marteaux, cuiseur, clarificateur.

Procédé :

- i) Concassage des noyaux.
- ii) Séparation des coques et des amandes.
- iii) Broyage.
- iv) Ebullition à l'eau.
- v) Séparation de l'huile et de l'eau.
- vi) Clarification.

(Autre procédé, l'amande broyée passe dans une presse à vis. Le tourteau résiduel sert d'aliment pour le bétail).

Tomates

Le séchage au soleil est sans doute l'une des plus anciennes méthodes de conservation des fruits et légumes. Le séchage des légumes comprend le tri et le classement, le lavage, le blanchiment, le séchage et le broyage. Deux techniques concernant les tomates sont décrites ci-après :

Premier produit :
Tranches de tomate séchées

Equipement :
Trancheuse, récipient pour le chauffage, récipient à déshydrater.

Procédé :
i) Echaudage à l'eau bouillante pour le pelage.
ii) Tranchage.
iii) Séchage à moins de 65°C.

Second produit :
Poudre de tomate

Equipement :
Dépulpeuse, évaporateur, sécheur à tambour.

Procédé :
i) Extraction de la pulpe de tomate.
ii) Concentration du jus dans un évaporateur.
iii) Séchage du coulis.

Fèves de soja

Le soja, en raison de ses multiples usages, a pu être décrit comme une véritable plante miracle. Il est utilisé sous plusieurs formes comme source de protéines, notamment en complément de diverses farines de céréales. Il fournit également du lait et de l'huile de soja. La production de lait de soja fait appel à la trituration, au malaxage, à la pasteurisation et au sucrage, tandis que l'extraction d'huile comporte le broyage, le décorticage, la cuisson, la pression et la clarification. Une utilisation moins connue de la fève de soja est la production du condiment appelé "soja iru".

Produit :
Soja iru.

Utilisation :
Assaisonnement des aliments.

Equipement :
Sécheur, batteuse, brûloir, chaudière, décortiqueuse, cuiseur, appareil de fermentation, broyeur à disques.

Procédé :
i) Séchage de la plante récoltée.
ii) Battage.
iii) Brûlage.
iv) Trempage pendant 8 heures.

- v) Ebullition.
- vi) Décorticage.
- vii) Cuisson.
- viii) Fermentation.
- ix) Addition de sel.
- x) Séchage.
- xi) Broyage.
- xii) Conditionnement.

Fruits

Les fruits sont meilleurs consommés frais. Mais leur caractère saisonnier et le fait qu'ils s'abiment rapidement donnent beaucoup d'importance aux techniques de transformation des fruits.

Premier produit :
Sirops.

Utilisation :
Boissons concentrées à base de fruits que l'on consommera étendues d'eau.

Equipement :
Machine à peler, machine à laver, extracteur de jus, appareil de filtration, matériel de réfrigération.

Procédé :

- i) Sélection des fruits.
- ii) Lavage.
- iii) Pelage.
- iv) Tranchage.
- v) Extraction du jus.
- vi) Mélange avec du sucre à 40°C.
- vii) Filtration pour éliminer la terre et les matières étrangères.
- viii) Mise en bouteilles.
- ix) Pasteurisation à environ 100°C.
- x) Refroidissement.

Second produit :
Confiture.

Utilisation :
Confiture à tartiner.

Equipement :
Dépulpouse, mélangeuse.

Procédé :

- i) Nettoyage.
- ii) Elimination de la peau ou de l'écorce, du trognon et des pépins.
- iii) Extraction de la pulpe des fruits.
- iv) Addition de pectine.
- v) Addition d'acide citrique et de jus de lime.
- vi) Conditionnement.

Poisson

Le poisson peut être transformé ou conservé au moyen de techniques perfectionnées telles que la réfrigération, la congélation et l'appertisation. Un certain nombre de techniques plus simples font appel au salage, au fumage et, dans certains cas, à la fermentation. Les méthodes utilisées en Afrique varient considérablement d'un pays à l'autre. Deux de ces méthodes sont décrites ci-après, ainsi que la production de farine de poisson.

Premier produit :
Poisson fermenté

Utilisation :
Consommation humaine.

Equipement :
Couteaux, récipients de lavage, récipients de mélange.
Appareil de fermentation, séchoir.

Procédé :
i) Ecaillage.
ii) Eviscération.
iii) Lavage à l'eau.
iv) Salage.
v) Fermentation.
vi) Séchage au soleil.

Second produit :
Poisson fumé

Utilisation :
Consommation humaine

Equipement :
Couteaux, séchoir, four.

Procédé :
i) Ecaillage.
ii) Lavage.
iii) Séchage/fumage (sur un feu ouvert ou sur des herbes sèches, des fibres ou de la sciure).

Troisième produit :
Farine de poisson

Utilisation :
Alimentation de la volaille et du bétail.

Equipement :
Couteaux, broyeur, récipients de cuisson, séchoir, presse.

Procédé :
i) Nettoyage et découpe.
ii) Broyage.
iii) Cuisson.
iv) Compression.
v) Dilacération.

- vi) Séchage.
- vii) Refroidissement.
- viii) Broyage.
- ix) Compression.
- x) Conditionnement.

Manioc

Le manioc est la nourriture de base de nombreux Africains, notamment en Afrique occidentale. Il est transformé de différentes manières de façon à obtenir des cossettes, de la farine, des granulés, de l'amidon, des adhésifs et autres produits.

Premier produit :
Farine de manioc

Utilisation :
Consommation humaine.

Equipement :
Machine à laver, machine à peler, hachoir, broyeur, tamis, séchoir.

- Procédé :
- i) Lavage du tubercule.
 - ii) Pelage du tubercule.
 - iii) Tranchage en cossettes.
 - iv) Séchage.
 - v) Broyage des cossettes.
 - vi) Tamisage et rebroyage des particules volumineuses.
 - vii) Conditionnement.

Second produit :
Amidon de manioc

Utilisation :
Blanchissage, fonderie, fabrication d'adhésifs, papeterie, fabrication de peintures.

Equipement :
Machine à laver, machine à peler, râpe, tamis, séchoir, machine à obturer.

- Procédé :
- i) Lavage.
 - ii) Pelage.
 - iii) Râpage.
 - iv) Malaxage avec de l'eau en abondance.
 - v) Tamisage avec un tamis à mailles fines.
 - vi) Sédimentation et décantation.
 - vii) Déshydratation.
 - viii) Bris des grumeaux.
 - ix) Séchage.
 - x) Conditionnement.

B) Matières premières d'origine minérale

B1) Minerais non métalliques

Les produits minéraux non métalliques que l'on trouve en Afrique sont les suivants : la chaux, le gypse, le charbon, le kaolin, le trona, les phosphates, le talc, les barytes, la bentonite, le natron, la bauxite et diverses pierres précieuses parmi lesquelles le diamant, le rubis, le saphir, la malachite, l'émeraude, etc. La plupart des pays d'Afrique exportent surtout ces produits sous forme brute. Le présent chapitre privilégie les technologies de transformation destinées à valoriser ces matières premières. Une partie de l'équipement peut être fabriqué sur place, ou bien l'équipement importé pourrait être adapté.

Pierre à chaux

Produit :
Chaux éteinte.

Utilisations :
Fabrication de produits chimiques divers, traitement de l'eau, ciment Portland, production d'acier, etc.

Matières premières :
Chaux, eau.

Equipement :
Concasseur à mâchoires, crible vibrant, four, broyeur à marteaux, cuve de malaxage.

Procédé :
i) La chaux est concassée en petits fragments.
ii) Elle est chargée dans le four avec environ 15% de coke.
iii) Le four est chauffé à environ 1000°C pour produire la chaux vive.
iv) La chaux vive est concassée au moyen du broyeur à marteaux.
v) La chaux vive concassée est versée dans la cuve.
vi) On ajoute de l'eau pour obtenir de la chaux éteinte.
vii) Le produit est conditionné en sacs.

Gypse

Produit :
Gypse calciné, plâtre de Paris.

Utilisations :
Moules pour la céramique/poterie, revêtement en plâtre pour murs et sols, panneaux de plâtre pour murs et plafonds, plâtre orthopédique, craies d'écolier, préparations pharmaceutiques, pigments de charge pour les peintures, etc.

Matières premières :
Gypse et eau.

Equipement :

Concasseur à mâchoires/pulvérisateur, bac de lavage, four rotatif, broyeur à marteaux, crible, mélangeur, machine à peser et à ensacher, machine à piquer/obturer, seau, transporteurs et silos de stockage.

Procédé :

- i) Le gypse est extrait et lavé pour éliminer les matières argileuses.
- ii) Le gypse est concassé dans un broyeur à marteaux/concasseur à mâchoires de manière à obtenir des particules comprises entre 0,5 et 5 mm.
- iii) Il est porté à une température comprise entre 1300°C et 1800°C.
- iv) Le gypse calciné est réduit à la taille de particule souhaitée et tamisé.
- v) Il est mélangé à des retardateurs de la prise avant d'être pesé et ensaché.

Kaolin

Produit :

Kaolin transformé.

Utilisations :

Matières premières pour la fabrication du papier, du savon et des peintures; matériaux de filtrage; pour l'industrie des détergents, des engrais, des matières plastiques; absorbant; adhésif, etc.

Matières premières :

Kaolin, eau et diatomite.

Equipement :

Mélangeurs, hydrocyclones, tamis, cuves, filtres-presses, séchoirs, broyeurs à marteaux, fours de calcinage, pompes, conditionneurs, lavoirs, bascules/ensacheuses.

Procédé :

- i) Le kaolin est concassé et mélangé à de l'eau de manière à obtenir un coulis.
- ii) Un réactif à base de diatomite peut être ajouté pour décolorer l'argile, si nécessaire.
- iii) Le coulis est transféré par pompage sur le crible vibrant pour extraire les particules étrangères.
- iv) Le coulis est transféré dans le filtre-presse par pompage pour éliminer l'eau.
- v) Le kaolin filtré est desséché, pulvérisé, broyé et trié.
- vi) Le produit est conditionné.

Phosphorite

Produit :

Phosphorite et poudre de phosphate de haute qualité.

Utilisations :

Production d'engrais (NPK) et de produits chimiques phosphatés.

Matières premières :

Galets/blocs ou dépôts de phosphorite présents sous forme de pâte, sable siliceux, eau et silicate de sodium.

Equipement :

Laveurs rotatifs, crible rotatif, concasseur à mâchoires, crible vibrant, appareils de classification hydrauliques, sécheur, cuves de réception et de mélange, matériel d'épuisement, hydrocyclones, flottateur, concasseur à marteaux avec trieur, matériel d'ensachage.

Procédé :

- i) La phosphorite est lavée à l'eau dans un laveur rotatif et déchargée dans un crible rotatif qui la sépare selon les différentes ouvertures de maille.
- ii) Les galets de phosphorite sont ensuite concassés et relavés.
- iii) Les galets nettoyés et lavés sont transférés dans un trieur.
- iv) Les galets sont alors déshydratés, séchés et stockés sous forme de phosphate de haute qualité.

Pour la poudre de phosphate :

- i) Le résidu obtenu (galets retenus par un tamis aux mailles de 8 mm) est déshydraté et conditionné avec le silicate de sodium pour obtenir du phosphate à flottation.
- ii) Le phosphate récupéré dans la mousse est déshydraté, desséché et réduit à une ouverture de maille de 42 mm.
- iii) Ce produit est ensuite stocké et ensaché sous forme de poudre de phosphate.

Bentonite

Produit :

Bentonite minérale transformée.

Utilisations :

Pour lier le sable de fonderie, comme additif des clinkers de ciment et composant de divers matériaux de construction à base d'argile, pour l'isolation, pour le fonçage des fondations, comme plastifiant et agent de renforcement pour la fabrication des produits en céramique, pour l'industrie alimentaire et l'industrie textile, ainsi que dans le forage et le raffinage (comme catalyseur de craquage des produits pétroliers). Egalement utilisée dans l'industrie chimique comme agent de blanchiment, support de pesticides et d'insecticides, charge pour les plastiques et agent dessiccateur de gaz et de vapeurs; comme conditionneur des sols sableux et additif minéral pour le forage et la granulation des denrées alimentaires.

Matières premières :

Argiles bentonitiques brutes.

Equipement :

Concasseurs à mâchoires, concasseurs à cylindre, mélangeur par voie humide, mélangeurs, chambres de réaction, séchoirs, pulvérisateur y compris cribles, cyclones, silos, ensacheuses, etc.

Procédé :

- i) La bentonite peut être traitée par voie humide ou sèche selon la destination finale.

Voie sèche :

- i) La bentonite est homogénéisée,
- ii) séchée,
- iii) broyée à la granulométrie voulue.

Voie humide :

- i) La bentonite brute est malaxée dans l'eau dans des mélangeurs à hélice ou à tambour.
- ii) criblée pour enlever les blocs, les galets et le sable.
- iii) Le coulis est ensuite concentré par sédimentation.
- iv) Le coulis concentré est activé mécaniquement,
- v) déshydraté,
- vi) desséché,
- vii) broyé à la granulométrie voulue.

Roches minérales (généralités)

Produit :

Bloc de sel pour le bétail.

Utilisation :

Donné aux animaux pour augmenter l'appétit et leur fournir des sels minéraux essentiels.

Matières premières :

Sel gemme, kaolin, phosphorite, pierre à chaux, engrais d'os.

Equipement :

Concasseur à mâchoires, concasseur à boulets, presse hydraulique, four.

Procédé :

- i) Le sel gemme, le kaolin, la phosphorite, la pierre à chaux, etc sont concassés dans un concasseur à mâchoires.
- ii) Ils sont broyés dans un concasseur à boulets pour obtenir des particules plus fines.
- iii) Les matières minérales broyées sont mélangées à environ 5% d'eau.
- iv) Le mélange est compacté en blocs au moyen d'une presse hydraulique.
- v) Les blocs sont cuits au four pendant 2 heures à environ 300°C.

Pierres précieuses

Produit :

Pierres précieuses telles que l'émeraude, l'aigue-marine, le rubis, le saphir, l'améthyste, le grenat, la topaze, la tourmaline, etc.

Utilisation :

Joaillerie et ornementation.

Equipement :

Scie alternative à lame diamantée, machine à tailler et accessoires (disques abrasifs, disque à polir).

Procédé :

- i) Les pierres de qualité sont sélectionnées et grossièrement taillées à la forme voulue.
- ii) La machine à tailler à facettes équipée de disques abrasifs permet de meuler la pierre jusqu'à obtention de la forme et de la taille désirées (on procède à la taille en utilisant des disques de plus en plus fins).
- iii) Le disque abrasif est remplacé par un disque à polir pour le polissage.

Charbon

Le pétrole a remplacé le charbon pour la production des substances aromatiques et autres produits chimiques.

Le coke sidérurgique joue un rôle important dans la métallurgie et d'importants travaux de recherche sont consacrés au traitement des charbons non cokéfiabiles en vue de leur utilisation dans l'industrie métallurgique. On a rencontré davantage de succès en ce qui concerne l'utilisation des charbons non cokéfiabiles comme combustibles.

Les énormes quantités de poussière de charbon ou de coke auxquelles donnent lieu les fours à coke des usines sidérurgiques, les centrales thermiques et les dépôts de chemins de fer peuvent être utilisées pour confectionner des briquettes qui serviront de combustible à haute valeur calorifique pour les ménages et l'industrie.

Produit :

Briquettes de charbon/coke

Matières premières :

Charbon/coke/charbon de bois, liants (argile, celex, lessive sulfite, ciment, etc.).

Equipement :

Usine d'agglomération, machine de concassage, cribles.

Procédé :

- i) Le charbon est concassé et criblé.
- ii) Le liant est mélangé.
- iii) Le liant est ajouté au charbon, mélangé et
- iv) transféré sur la machine à fabriquer les agglomérés.

N.B.: Les autres matières premières à partir desquelles on pourrait fabriquer des agglomérés sont la sciure de bois, la balle de riz, les copeaux et particules de rabotage, les fibres de noix de coco, la bagasse, etc.

B2) Minerais métalliques

Les dix métaux les plus importants extraits en Afrique sont l'aluminium, le chrome, le cobalt, le cuivre, l'or, le fer, le manganèse, le platine, l'uranium et le zinc. La plupart des pays africains doivent se contenter d'extraire et de concentrer les minerais métalliques, sans pouvoir se consacrer à la fabrication des produits métalliques et des alliages. Les archéologues ont retrouvé des parures en or, ainsi que des objets fabriqués en argent, cuivre, plomb, fer et antimoine qui remontent à des milliers d'années. Il en va de même d'alliages tels que le bronze (cuivre et étain), du bronze au plomb (cuivre et plomb), du laiton (cuivre et zinc) et de l'acier (fer et carbone). Il en résulte que les techniques de traitement des minerais sont bien connues des Africains.

D'autre part, le très important marché que représentent les produits chimiques d'origine métallique n'a pas été exploité par les pays africains, sans doute en raison des coûts élevés généralement entraînés par la fabrication des substances chimiques. A la condition que les installations soient très

rigoureusement conçues, certains produits chimiques pourraient être produits à petite ou moyenne échelle. Les produits chimiques dérivés du zinc et du cuivre en sont de bons exemples.

Zinc

Premier produit :
Sulfate de zinc

Utilisation :

Micro-nutriment pour le sol, et notamment pour les sols consacrés à la culture du thé et de la canne à sucre; fongicide et traitement du bois; blanchiment du papier; mordant pour la teinture et l'impression des textiles; industrie des vernis et peintures; flottation des minerais; fabrication de la colle; fabrication de la rayonne; teintures; zincage; préparation de collyres, de solutions de lavage, de crèmes antiseptiques, etc.

Matières premières :

Déchets de zinc (par exemple, crasses de zinc, cendres ou résidus de zinc), acide sulfurique.

Equipement :

Cuves à réaction revêtues de plomb, bac de sédimentation revêtu de plomb, filtre-presse en bois, évaporateurs, cristallisoirs, centrifugeuses, réservoir de stockage d'acide sulfurique, sécheur à plateau, four.

Procédé :

- i) Les cendres de zinc sont mises en suspension dans l'eau et agitées.
- ii) L'acide sulfurique est ajouté lentement.
- iii) La solution est filtrée
- iv) puis évaporée
- v) cristallisée
- vi) centrifugée
- vii) séchée
- viii) conditionnée en sacs de jute revêtus de polyéthylène. On obtient ainsi du sulfate de zinc pouvant servir d'engrais. Pour obtenir un produit de meilleure qualité, le liquide est traité à la chaux et filtré en présence de permanganate de potassium et de poussière de zinc.

Second produit :
Oxyde de zinc.

Utilisation :

Activateur, pigments et agent de renforcement dans le caoutchouc et les formulations à base de hauts polymères; dans les pommades; adhésif; peintures et céramiques; cosmétiques; semi-conducteur dans les dispositifs électriques et autres.

Matière première :

Zinc de première fusion.

Equipement :

Four, réservoirs de stockage d'huile, chambre de prise, cyclone, soufflerie.

Procédé :

- i) Cuisson au four.
- ii) Vapeur en contact avec l'air.
- iii) Vapeur condensée et recueillie.

Une autre substance chimique intéressante que l'on peut obtenir à partir du zinc, à l'échelle de la petite ou de la moyenne industrie, est le chlorure de zinc qui comporte de nombreuses utilisations : piles sèches, décapant de soudage, gravure et galvanisation, fabrication de charbon actif, siccatif pour le laboratoire, industrie textile, mordant pour les teintures et impressions et ignifugeage.

Cuivre

Produit :

Sulfate de cuivre.

Utilisation :

Fongicides; mordant pour les textiles; conservateur pour le cuir, le bois, les particules de bois, le papier; adhésifs; pigments; piles électriques; gravure et lithographie; flottation des minerais et raffinage des produits pétroliers; sidérurgie; fabrication d'autres sels chimiques.

Matières premières :

Tournures de cuivre ou déchets de cuivre, acide sulfurique, air.

Équipement :

Récipient en acier doublé de plomb, filtre-presse en bois, évaporateur à cuve ouverte en acier inoxydable, cristalliseur, séchoir, chaudière, compresseur, cuve de stockage d'acide, pompes.

Procédé :

- i) Les tournures/déchets de cuivre sont placés dans un réacteur.
- ii) additionnés d'acide concentré et d'eau,
- iii) portés à 60-70°C par injection de vapeur (de l'air étant injecté dans le mélange réactif au moyen d'une soufflerie)
- iv) filtrés
- v) concentrés
- vi) évaporés
- vii) cristallisés.
- viii) Les cristaux sont séparés
- ix) séchés à l'air chaud (moins de 60°C)
- x) broyés
- xi) conditionnés en sacs de papier, en sacs doublés de polyéthylène ou en fûts.

C) Matériaux de construction

Béton à gaz

Utilisation :

Appliqué lorsqu'on exige une isolation thermique élevée ainsi qu'un faible retrait, joint à la légèreté.

Matières premières :

Sable quartzeux, ciment portland, chaux, poudre d'aluminium.

Equipement :

Broyeur à boulets, cuves, agitateur, bac de mélange, trémie, moules, autoclaves, chaudière à vapeur.

Procédé :

- i) Les matériaux sont broyés
- ii) mélangés à l'eau et à la poudre d'aluminium
- iii) découpés en blocs
- iv) traités à la vapeur à haute pression.

Fibro-ciment naturel

Utilisations :

Le fibro-ciment est surtout utilisé pour les toitures en raison de l'avantage qu'il présente par rapport à la tôle ondulée et au ciment d'amiante du point de vue du coût, ainsi que des propriétés thermiques, acoustiques et esthétiques.

Matières premières :

Les principaux composants du fibro-ciment sont le sable, le ciment, les fibres naturelles et l'eau.

Equipement :

Hachoir à fibres, mélangeur à béton, moules.

Procédé :

- i) Les fibres sont hachées.
- ii) Le mortier est préparé.
- iii) Les fibres sont ajoutées au mortier.
- iv) De petites boulettes de cire sont ajoutées au mortier,
- v) lequel est versé dans les moules
- vi) et séché au soleil (les boulettes de cire fondent au séchage et remplissent le système poreux, ce qui réduit l'absorption d'eau responsable de la décomposition des fibres).

N.B.: Le fibro-ciment naturel en tant que matériau de construction bon marché fait encore l'objet de recherches intensives. Les variétés de fibro-ciment, ainsi que leurs caractéristiques, sont extrêmement diverses, selon la quantité et la nature des fibres, du ciment et du sable mis en oeuvre. Le mode de fabrication décrit ci-dessus est l'une des nombreuses méthodes mettant en oeuvre des fibres courtes qui font actuellement l'objet de recherches.

Pouzzolane

Les pouzzolanes sont des matériaux naturels ou artificiels qui contiennent de la silice et/ou de l'alumine et qui, lorsqu'ils sont mélangés à de la chaux, peuvent remplacer 15 à 40% de ciment portland sans diminuer sensiblement à long terme la résistance du béton. Parmi les différentes sources de silice et/ou d'alumine pouvant servir à la production de pouzzolane figurent les cendres volcaniques, l'argile brûlée, les cendres de combustion pulvérisées, le sable de laitier broyé et les cendres de balle de riz. Deux procédés de fabrication de pouzzolane à partir de cendres de balle de riz sont décrits ci-après :

Première méthode :

Utilisation :

Substitut du ciment dans les mortiers, les fonds d'enduit et le béton armé.

Equipement :

Four

Procédé :

- i) Les balles sont brûlées à une température inférieure à 700°C.
- ii) puis broyées au broyeur à boulets.
- iii) et mélangées à de la chaux éteinte à 30 à 50%.

Seconde méthode :

Utilisation :

Liant hydraulique

Equipement :

Concasseur, mélangeur, four.

Procédé :

- i) Les balles de riz sont concassées,
- ii) mélangées à l'eau et aux résidus de tourteau de filtre-presse de raffinerie de sucre,
- iii) puis formées en boulettes sphériques,
- iv) séchées au soleil
- v) et cuites pour donner une poudre douce.

Brique cuite

Utilisation :

Comme éléments d'architecture/de construction dans l'industrie du bâtiment.

Matières premières :

Argile, schistes, sable siliceux, liants.

Equipement :

Concasseurs à mâchoires, concasseurs à rouleau, réservoirs d'eau, transporteur, machine à mouler, machine à découper, séchoirs, four.

Procédé :

- i) Les morceaux d'argile sont concassés et finement pulvérisés.
- ii) On ajoute de l'eau et on mélange bien tout en poursuivant le concassage et la pulvérisation jusqu'à obtention de la plasticité souhaitée.
- iii) La pâte d'argile est ensuite moulée et découpée aux formes et aux dimensions voulues.
- iv) Les briques sont d'abord séchées à l'air avant d'être cuites ou séchées au four à environ 1000°C pour obtenir des briques cuites.

Matériaux pour plâtrer les murs

Dans les pays développés, outre le béton, on peut utiliser du carrelage et des pierres de taille pour revêtir les murs. Les pays africains font appel à des technologies et à des matériaux autochtones pour décorer et protéger les murs. Il s'agit notamment de diverses feuilles qui sont broyées pour obtenir différents coloris, de déchets d'origine animale dont on a constaté qu'ils repoussaient les termites et les attaques bactériennes et de l'application de détritrus tels que tessons de poterie et débris de Calebasses pour décorer les murs. L'utilisation de sédiments de caroubes pour le plâtrage des murs dont ils empêchent le fendillement est décrite ci-après.

Matières premières :

Caroubes, terre argileuse, eau.

Procédé :

- i) Les caroubes sont mises à tremper dans l'eau pendant 5 jours.
- ii) L'eau est décantée.
- iii) La terre argileuse est mise à tremper dans le sédiment.
- iv) Le mélange est taloché sur les murs.

Matériaux adhésifs pour le bois

Le bois d'oeuvre se présente rarement dans les dimensions et sous les formes voulues pour la construction. Diverses colles à bois sont vendues dans le commerce sous différentes marques. On peut obtenir une colle résistante à l'eau à partir du lait écrémé, comme ci-après :

Produit :

Colle imperméable pour l'agglomération des fibres de bois.

Matières premières :

Lait écrémé, chaux éteinte, silicate de sodium, chlorure de cuivre.

Procédé :

- i) Poudre de caséine préparée comme ci-après :
 - a) Diluer l'acide chlorhydrique ajouté au lait
 - b) Retirer le petit lait
 - c) La caillebotte est lavée à l'eau et égouttée
 - d) La caillebote est déshydratée dans une presse
 - e) La caillebotte est rompue en petites particules et mise à sécher en l'étalant
 - f) La caillebotte est réduite en poudre.
- ii) L'eau est ajoutée à la poudre de caséine.
- iii) La chaux éteinte et l'eau sont mélangées dans un récipient différent.

- iv) Le chlorure de cuivre est dissous dans l'eau dans un troisième récipient.
- v) La solution de chlorure de cuivre est ajoutée au mélange de caséine.
- vi) Le mélange chaux éteinte-eau est versé dans le mélange de caséine et malaxé.
- vii) Du silicate de sodium est ajouté au mélange.

Béton armé

Des barres d'acier sont incorporées aux sections de béton qui sont sous tension pour renforcer la faible résistance à la traction du béton en masse et empêcher le retrait thermique. Le béton peut également être armé au moyen de matériaux moins coûteux tels que les cannes de bambou, procédé décrit ci-après :

Matières premières :

Canes de bambou (3 ans et plus), ciment, eau, sable, gravier.

Equipement :

Barres de fer ou de bois dur, hache, coins en acier, piqueur en bois, couteaux à refendre, cuve de malaxage, ciment.

Utilisation :

Pour les dalles, les poutres, les murs et toitures, les colonnes et réservoirs d'eau renforcés.

Procédé :

- i) Les cannes sont fendues en baguettes.
- ii) Les baguettes sont disposées en treillis (figure 16) après quoi l'on applique le mortier ou le béton.

Bois et bambou traités

Le bois d'oeuvre et le bambou sont largement utilisés pour la construction des portes et chambranles, des planchers, des éléments de toiture et des cloisons. Les bois sont séchés et traités pour empêcher le retrait et, par la suite, le jeu des assemblages et les déformations. Le traitement du bois empêche également qu'il ne soit attaqué par les moisissures, les insectes, etc. Une fois traité, le bois est plus léger et plus résistant que le bois vert et a de meilleures propriétés d'isolation thermique. Il se colle mieux et les enduits, peintures et vernis qui y sont appliqués durent davantage. On peut utiliser trois méthodes pour traiter le bois :

Séchage à l'air

Procédé :

Le bois d'oeuvre est empilé de telle sorte que l'air puisse circuler entre les diverses pièces de bois. Le bois ne doit pas être en contact avec le sol et être abrité de la pluie.

Séchage à l'air forcé

Procédé :

Le bois est empilé comme en a) ci-dessus et l'on utilise des ventilateurs pour le séchage.

Séchage au four

Procédé :

- i) Le bois scié
- ii) est empilé dans un four
- iii) de l'air chauffé circule dans le four (avec injection périodique de vapeur).

Le traitement du bambou obéit à un procédé différent :

- i) Les cannes sont coupées à 15 à 20 cm au-dessus du sol immédiatement au-dessus d'un noeud, afin que l'eau ne puisse pas s'accumuler, car cela risquerait de détruire les rhizomes.
- ii) Les cannes fraîchement coupées, avec leurs branches et leurs feuilles restent sur place pendant quelques jours, ce qui permet aux feuilles de transpirer et réduit la teneur en amidon des cannes. (Autre procédé, le bambou peut être fumé pour détruire l'amidon ou trempé dans l'eau pour éliminer l'amidon et le sucre).
- iii) On applique un coulis de chaux ou une couche de bouse de vache pour empêcher les attaques des termites et des bactéries.
- iv) D'autres traitements chimiques, tels que l'application de bitume et de solution de pentachlorophénol à 5 à 10% dans l'huile légère, sont utilisés pour repousser les termites.

Fibres naturelles, herbes, feuilles

La mise en oeuvre de fibres naturelles dans le béton a déjà été discutée. Ces fibres sont également utiles pour la construction des sols et autres éléments composites. Les fibres naturelles peuvent être tressées pour obtenir des cordes, elles peuvent servir à lier des éléments de construction ou à obtenir des éléments porteurs résistants à la traction, notamment pour la construction des toits. La paille et les feuilles de palmier servent à confectionner des toits de chaume et, à l'échelle industrielle, les pailles sont compressées à la chaleur et sous pression pour fournir des dalles. Quant aux roseaux ils sont liés, tissés ou rassemblés en faisceaux pour former des colonnes, des poutres, des revêtements muraux, des pare-soleil ou des éléments de toiture.

Ces matériaux peuvent être traités au moyen de substances chimiques pour empêcher les risques biologiques ou le risque d'incendie, mais des précautions s'imposent en raison du danger d'empoisonnement des eaux de pluie recueillies à partir de la toiture. On peut également procéder au fumage pour empêcher la pourriture et l'installation des insectes.

Soufre

Si l'utilisation du soufre, sous-produit de la désulfuration du pétrole et du gaz naturel, est bien connue dans les industries chimique et pharmaceutique, son application comme matériau de construction est relativement nouvelle. Un revêtement de soufre sur des matériaux légers, flexibles et poreux les rend plus résistants, plus rigides et étanches à l'eau. Le soufre peut également être utilisé à l'état fondu comme adhésif. Les mousses de soufre, obtenues en introduisant de petites quantités d'agents moussants, sont légères, rigides et présentent une excellente résistance thermique, ainsi qu'un faible retrait

et une faible absorption d'eau. Le soufre est également utilisé pour la production du béton. Le béton au soufre a l'avantage d'atteindre sa résistance maximale en peu de temps. Il résiste aux attaques chimiques, n'a pas besoin d'être enduit ou peint et est également facile à assembler.

Produit :
Béton au soufre

Utilisation :
Pour les murs et les sols.

Procédé :
i) Fleur de soufre mélangée à des agrégats.
ii) Addition de silice en poudre.
iii) Mélange porté à 180°C.
iv) moulé à la forme et à la dimension voulues.

SECTION IV

STRATEGIES DE FORMATION DES RESSOURCES HUMAINES LOCALES PARTICIPANT A L'EXPLOITATION DES MATIERES PREMIERES

Il est nécessaire de prévoir une formation technique et commerciale pour les chefs d'entreprise, quelle que soit leur ancienneté. Il pourra s'agir d'une formation de base, d'une formation supérieure ou d'un recyclage, selon les antécédents du chef d'entreprise et la nature du projet. Cette formation peut être organisée par différentes institutions ou différents organismes.

Formation technique

En dehors des institutions telles que les universités, les écoles polytechniques et les collèges techniques, la formation peut être organisée à la demande ou au moyen de programmes de vulgarisation/ateliers mobiles. La formation en cours d'emploi est également un moyen très efficace d'initier le personnel à de nouveaux procédés. Ce mode de formation n'est pas inconnu des Africains qui ont l'habitude de ce système d'apprentissage.

Pour la production à petite ou moyenne échelle, une formation polyvalente de deux à quatre ans en technologie alimentaire prépare l'intéressé à travailler dans les industries transformatrices de produits agricoles. Cependant, une formation d'ingénieur chimiste permet de mieux connaître les performances de l'équipement. Une formation de trois à six mois au moyen d'ateliers, de programmes de vulgarisation ou de stages suffira pour la production artisanale. Les technologies mises en oeuvre pour la production d'engrais et de colle d'os, la production de vin de cacao, d'huile de palme et d'huile de palme, ou la transformation des tomates peuvent s'apprendre sur le tas en un à trois mois. De même, les techniques de la préparation du "soja iru" et de la transformation des fruits peuvent s'acquérir dans les mêmes conditions s'il s'agit de production artisanale.

La production d'alcaloïdes à partir de cacao suppose la connaissance d'un certain nombre de techniques de laboratoire enseignées dans le cadre d'études scientifiques.

Lorsqu'il s'agit d'opérations conduites à l'échelle indiquée dans la présente étude, les ingénieurs chimistes sont les mieux placés pour s'occuper des projets de traitement des substances minérales. Quant aux autres, ils pourront facilement apprendre sur le tas. Dans de nombreux pays africains où il n'existe guère de cours en génie chimique, la formation en mécanique dispensée par les écoles professionnelles suffira, à condition de prévoir une formation complémentaire en cours d'emploi. De bonnes notions de chimie, du niveau de l'école secondaire, ne seront pas non plus inutiles. Des diplômés en chimie sont nécessaires pour épauler le technicien dans les entreprises préparant des sels métalliques (cuivre et zinc). Là où il en existe, un ingénieur chimiste spécialisé en technologie devrait suffire. D'autre part, les techniques du polissage des pierres précieuses peuvent s'acquérir en cours d'emploi en trois à six mois d'apprentissage intensif.

Quant à la mise en oeuvre des matières premières dans le bâtiment c'est en cours d'emploi que les techniques en seront le plus facilement acquises. Sans être indispensable, un certain bagage en sciences, et notamment en technologie du bâtiment, acquis dans un institut polytechnique ou un collège technique, représenterait un avantage.

La sécurité et l'hygiène des entreprises, le contrôle de la qualité, ainsi que la maintenance de l'équipement devront faire partie du programme de formation, quelles que soient la nature et l'ampleur des opérations de production. Il convient également de prévoir des cours axés sur les procédés et les produits (par exemple production d'amidon, conservation des fruits, dessiccation, etc.). Des ateliers mobiles organisés par les pouvoirs publics ou des institutions bénévoles pourraient faciliter la démonstration et le programme de formation.

Gestion

La formation aux techniques de gestion est souvent négligée, ce qui a entraîné l'échec de nombreux projets. Fort heureusement, cet important domaine retient désormais beaucoup plus l'attention en Afrique.

Les cours de gestion industrielle doivent porter sur la gestion de la production, la maîtrise des coûts et le contrôle budgétaire, l'initiation à la gestion en matière de marketing, ainsi que la publicité. Bien entendu, les études seront plus ou moins approfondies selon la nature et l'ampleur des opérations. Des cours spécialisés dans des disciplines telles que la comptabilité analytique, la promotion des exportations, les questions juridiques, etc. pourront être prévus dans le cas des entreprises les plus importantes.

SECTION V

STRATEGIES DESTINEES A PERMETTRE AUX PAYS AFRICAINS DE
BENEFICIER DE LA TRANSFORMATION LOCALE DE LEURS MATIERES PREMIERES

Après avoir envisagé les aspects techniques de la transformation des matières premières, il convient de s'intéresser, même brièvement, à d'autres questions qui influent sur le développement de l'industrie transformatrice en Afrique. Les stratégies destinées à permettre aux pays africains de recueillir les fruits de la transformation locale de leurs matières premières ont fait l'objet de nombreux débats. Une partie des suggestions qui en sont résultées sont résumées ci-après :

- * Il conviendra de déterminer et de faire connaître la quantité et la qualité des matières premières d'origine agricole et minérale disponibles localement.
- * Il conviendra de déterminer et de faire connaître les besoins en matières premières des industries locales et des industries à l'étranger.
- * Il conviendra d'entreprendre des études sur les technologies de l'industrie transformatrice et l'utilisation possible de l'ensemble des matières premières disponibles et d'en publier les résultats.
- * Il conviendra de procéder à une enquête sur les techniques autochtones de transformation des matières premières et d'en publier les résultats.
- * Il conviendra de conduire des études destinées à perfectionner les technologies autochtones pour les porter au niveau industriel et d'en publier les résultats.
- * Les industries manufacturières devraient être tenues d'utiliser les produits des transformateurs locaux lorsqu'ils sont de bonne qualité.
- * Les pouvoirs publics devraient introduire des mesures obligeant l'ensemble des établissements industriels à définir un programme de suppression de leurs importations de matières premières.
- * Il conviendrait de procéder à une enquête sur les fabricants d'équipements destinés aux industries transformatrices.
- * Il y aurait lieu de recenser les carences en ce qui concerne la capacité de fabrication d'équipements pour l'industrie transformatrice et d'y remédier.
- * Il y aurait lieu de mettre en place dans les universités, les instituts polytechniques, les collèges techniques et les centres d'apprentissage les infrastructures nécessaires et suffisantes en vue du développement et de la formation des techniciens.
- * Il y aurait lieu de renforcer l'interaction entre l'industrie et les centres de recherche en vue de trouver des substituts aux matières premières importées.

- * Des facilités de crédit devraient être mises en place en vue de la création des industries de transformation des matières premières.
- * Les pouvoirs publics devraient créer des centres de recherche en ingénierie, dans des domaines tels que la transformation des substances minérales, l'élaboration des matériaux et l'ingénierie de procédé.
- * Les programmes officiels d'enseignement et de formation donnés par les établissements tertiaires devraient toujours être complétés par des stages pratiques.
- * Les pouvoirs publics devraient promouvoir la création d'associations en recherche industrielle.
- * Les pays en développement devraient intensifier leurs échanges de marchandises.

REFERENCES

UNIFEM Food technology source book series:

- Oil Extraction
- Fruit and Vegetable Processing
- Cereal Processing
- Root Crop Processing

Appropriate Building Materials: A Catalogue of Potential Solutions, Roland Stulz, Kiran Mujerji, SKAT Publications, Suisse

Village Technology Handbook, Volunteer in Technical Assistance

Perry's Chemical Engineers' Handbook H. Perry (late Editor) Don W. Green (Editor), McGraw Hill Book Company

Chemical Engineering, Vol II, Coulson and Richardson, Pergamon Press

An Illustrated Guide on Food Crop Handling, Storage and Processing in Nigeria (Directorate of Food Road and Rural Infrastructures)

Non Traditional and Feasible Uses of Cocoa, The Nigerian Experience, Lawrence K. Opeke

Local Design and Fabrication of Process Equipment in Nigeria: The Way Forward - D.B. Ayo (manuscrit inédit)

Sources des figures

Figure 1 Laveur rotatif
(Dessin par D.B. Ayo, Nigéria)

Figure 2 Egreneuse à maïs
(Dessin par D.B. Ayo, Nigéria)

Figure 3 Batteuse
(Source: Cereal Processing, UNIFEM. Dessin par Peter Dobson, Royaume-Uni)

Figure 4 Machine à peler le manioc
(Source: Root Crop Processing, UNIFEM. Dessin par Peter Dobson, Royaume-Uni)

Figure 5 Décortiqueuse/tarare
(Source: Cereal Processing, UNIFEM. Dessin par Peter Dobson, Royaume-Uni)

Figure 6 Broyeur à boulets industriel
(Source: Chemical Engineering, Coulson Richardson)

Figure 7 Adaptation locale de broyeur à boulets
(Dessin par D.B. Ayo, Nigéria)

Figure 8 Sécheur rotatif industriel
(Source: Chemical Engineering, Coulson and Richardson)

Figure 9 Adaptation locale de sécheur rotatif
(Dessin par D.B. Ayo, Nigéria)

Figure 10 Filtre-presse industriel
(Source: Chemical Engineering, Coulson and Richardson)

Figure 11 Adaptation locale de filtre-presse
(Dessin par D.B. Ayo, Nigéria)

Figure 12 Machine à déshydrater le manioc
(Dessin par D.B. Ayo, Nigéria)

Figure 13 Distillation d'alcool au village
(Dessin par D.B. Ayo, Nigéria)

Figure 14 Installation industrielle de distillation des produits pétroliers
(Source: The New Caxton Encyclopedia)

Figure 15 Presse manuelle pour la fabrication des parpaings
(Dessin de D.B. Ayo)

Figure 16 Préparation d'une armature en treillis pour béton armé en bambou
(Source: Village Technology Handbook VITA)