

TECHNIQUES POUR AUGMENTER LA DENSITE ENERGETIQUE DES BOUILLIES

Serge TRECHE

Laboratoire de Nutrition Tropicale (UR44), Centre Orstom,
Montpellier (France)

1. INTRODUCTION

Le "*Dietary bulk*" que l'on peut traduire en français par gros volume ou encombrement des aliments a été mentionné comme facteur possible de l'étiologie de la malnutrition protéino-calorique chez les jeunes enfants depuis les travaux de Nicol (1971) au Nigéria et de Rutishauser (1974) en Ouganda au début des années 1970. Mais c'est depuis la parution au début des années 80 d'une série d'articles d'une équipe de chercheurs suédois (Ljungqvist *et al.*, 1981 ; Hellstrom *et al.*, 1981 ; Brandtzaeg *et al.*, 1981 ; Karlsson et Svanberg, 1982) et les travaux de Desikachar (1980 ; 1982), de Gopaldas (1984) et de Gopaldas *et al.* (1986) en Inde que l'on a commencé à reconnaître la nécessité, compte tenu de la capacité stomacale réduite des jeunes enfants, d'augmenter la densité énergétique des aliments de complément, en particulier lorsque l'enfant ne bénéficie que d'un nombre limité de repas.

Plus récemment, plusieurs articles consacrés aux relations entre l'alimentation de complément, le niveau d'ingéré énergétique et la malnutrition protéino-énergétique ont souligné l'importance d'identifier et de vulgariser des moyens adaptés aux différents contextes des pays en développement pour augmenter la densité énergétique des aliments élaborés à partir de produits locaux (Walker, 1990 ; Creed de Kanashiro *et al.*, 1990 ; Brown, 1991 ; Ashworth et Draper, 1992).

2. QUAND FAUT-IL AUGMENTER LA DENSITE ENERGETIQUE DES BOUILLIES ?

Les études réalisées sur les pratiques de sevrage et la valeur nutritionnelle des bouillies traditionnellement utilisées dans plusieurs contextes africains permettent de mettre

facilement en évidence l'intérêt, sinon la nécessité, d'augmenter la densité énergétique des bouillies de sevrage.

Pour rendre notre démonstration plus concrète, nous prendrons l'exemple d'un contexte bien précis : celui du Congo. Dans ce pays, les enquêtes sur les pratiques de sevrage ont montré que parmi les enfants consommant régulièrement de la bouillie, seulement 22 % en zones rurales et 21 % à Brazzaville en consommaient plus de deux fois par jour (Cornu *et al.*, 1993).

Ces bouillies sont, dans plus de 80 % des cas, préparées avec des produits locaux, essentiellement à partir d'une pâte de maïs fermentée appelée *poto-poto* ou de farine de manioc (Trèche *et al.*, 1992 ; 1993). Les déterminations de teneur en matière sèche effectuées sur près de 300 échantillons de bouillies prélevés au moment de leur consommation montrent que les concentrations moyennes des bouillies de maïs et de manioc sont, respectivement, de 14 et 16 g de matière sèche pour 100 g de bouillie ce qui veut dire, en estimant que 1 g apporte 4 kcal, que la moitié des bouillies données aux enfants ont une densité énergétique inférieure à 60 Kcal/100 ml (figure 1).

Pendant la période de consommation de bouillies, la plupart des enfants congolais ne prennent donc que 1 ou 2 fois par jour une bouillie dont la densité énergétique est le plus souvent inférieure à 60 Kcal/100 ml. Si on prend l'hypothèse, conforme aux travaux de Vis *et al.* (1981) au Zaïre, que les mères en Afrique Centrale fournissent en moyenne 540 ml de lait par jour, soit 380 Kcal, cela signifie que l'alimentation complémentaire devrait fournir 385 Kcal à un jeune garçon de 6 mois dont les besoins énergétiques peuvent être estimés à 765 Kcal.

Pour fournir ces 385 Kcal, il faudrait 640 ml d'une bouillie de densité énergétique égale à 60 Kcal. Or il est reconnu que compte tenu de sa capacité stomacale réduite, un enfant de cet âge ne peut pas ingérer en un seul repas plus de 150 à 200 ml de bouillies. En prenant une moyenne de 170 ml par repas, on montre aisément (figure 2) :

- qu'il est nécessaire que les bouillies aient une densité énergétique d'environ 120 Kcal/100 ml pour que la prise de deux bouillies par jour soit suffisante pour permettre la couverture de ses besoins énergétiques en complément du lait maternel ;
- qu'il faudrait au moins 4 bouillies par jour pour couvrir ces mêmes besoins lorsque la densité énergétique des bouillies ne dépasse pas 60 Kcal/100 ml.

Dans les contextes caractérisés à la fois par une fourniture de lait insuffisante, une faible fréquence de distribution des bouillies et l'utilisation d'aliments de sevrage à base de céréales ou de tubercules n'ayant pas subi de traitements appropriés, les bouillies ne sont donc pas capables de compléter les apports du lait maternel pour couvrir les besoins énergétiques des jeunes enfants.

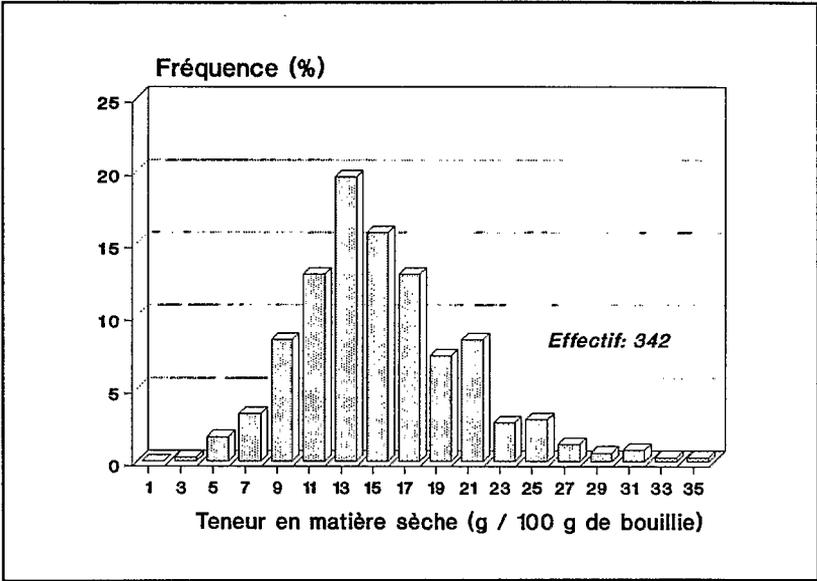


Figure 1

Distribution de la teneur en matière sèche des bouillies consommées en zones rurales au Congo.

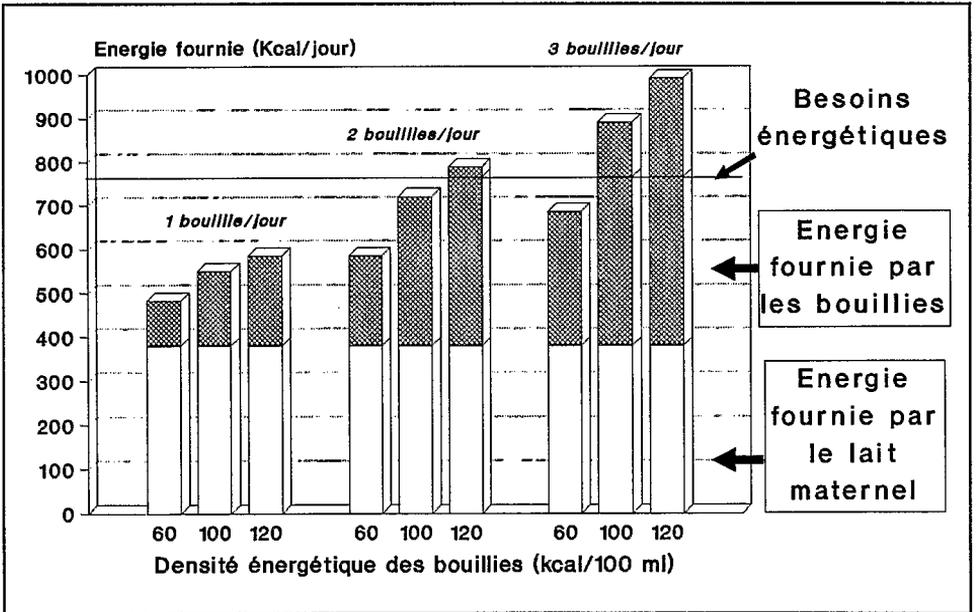


Figure 2

Couverture des besoins énergétiques d'un garçon de six mois en fonction de la fréquence de distribution et de la densité énergétique des bouillies.

Pour y remédier, la première solution qui vient à l'esprit est d'augmenter la fréquence de distribution des bouillies : 4 bouillies par jour permettraient de couvrir les besoins avec des bouillies de densité énergétique égale à 60 Kcal/100ml. Malheureusement, les études réalisées montrent que compte tenu de l'occupation des mères par les travaux agricoles ou le petit commerce, les recommandations dans ce sens ne sont, dans la plupart des cas, pas suivies d'effets.

Une autre solution semble pouvoir être d'augmenter la concentration en farine, c'est à dire d'introduire dans un même volume de bouillie plus de farine ou de pâte. Mais des mesures de viscosité sur des bouillies traditionnellement utilisées au Congo ont montré (Trèche et Giamarchi, résultats non publiés) que plus les enfants sont jeunes plus ils préfèrent des bouillies fluides (figure 3) alors que la viscosité des bouillies, que l'on a l'habitude de mesurer avec des viscosimètres rotatifs et qui s'exprime en Pa.s, augmente très vite avec leur concentration quel que soit leur ingrédient principal. Pour être facilement acceptable par les plus jeunes, les bouillies devraient avoir une viscosité ne dépassant pas 1,5 Pa.s, alors que l'évolution de la viscosité des bouillies en fonction de leur concentration montre qu'il n'est pas possible, sans traitements spéciaux, de préparer des bouillies de maïs, de manioc ou de riz ayant à la fois une concentration supérieure à 10 g MS/100 ml et une viscosité voisine de 1,5 Pa.s (figure 4).

D'autres solutions encore peuvent être proposées :

- agir en faveur des mères, notamment pour leur permettre de réduire leur activité et/ou leur procurer une meilleure alimentation de façon à leur permettre de produire plus de lait ;
- introduire dans des bouillies des ingrédients riches en énergie, en particulier de l'huile, ou ne modifiant pas de manière sensible leur consistance comme le sucre.

Mais l'expérience montre que ces solutions qui la plupart du temps vont à l'encontre des modes de vie ou sont très coûteuses sont très difficiles à faire accepter.

Bien qu'elles aient été le plus souvent réalisées avec des enfants âgés de plus d'un an bénéficiant de plus de deux repas par jour, plusieurs études (Brown *et al.*, 1989 ; Alvina *et al.*, 1990 ; Sanchez-Grinan *et al.*, 1992 ; Mujibur Rahman *et al.*, 1994) tendent à montrer qu'il existe une relation positive entre la densité énergétique d'une bouillie et la quantité de matière sèche ingérée par les enfants. De ce fait, la solution la plus efficace pour augmenter l'ingéré énergétique des nourrissons semble donc être d'améliorer la densité énergétique des bouillies en mettant en oeuvre des traitements qui modifient les propriétés physico-chimiques des amidons de façon à réduire à un niveau acceptable par les jeunes enfants leur viscosité lorsqu'elles sont préparées à des concentrations en matière sèche suffisantes.

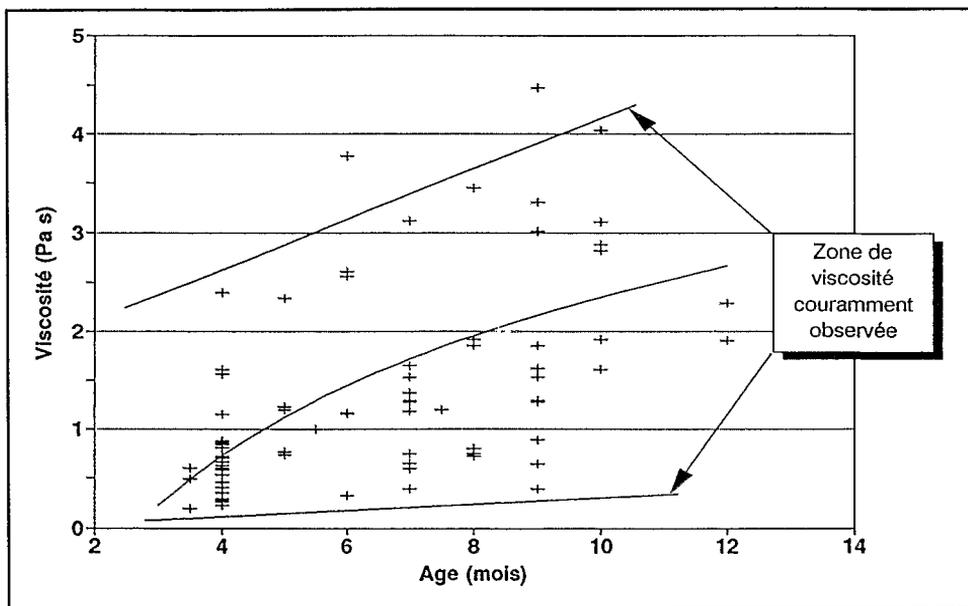


Figure 3
Variation de la viscosité des bouillies en fonction de l'âge des enfants.

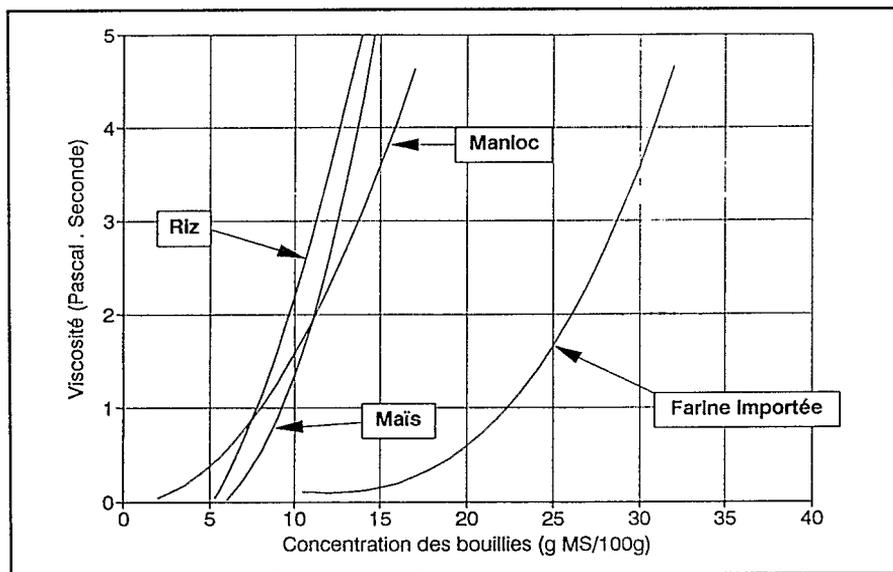


Figure 4
Variation de la viscosité de bouillies préparées avec différents aliments amylacés en fonction de leur concentration.

3. PROCÉDES PERMETTANT DE REDUIRE LA VISCOSITE DES BOUILLIES

3.1. Les choix possibles

En théorie, il existe deux voies pour faire varier la viscosité d'une préparation d'amidon en milieu aqueux : d'une part, la réticulation qui nécessite l'addition de molécules organiques polaires comme des monoglycérides ou des acides gras et qui fait passer l'amylose d'une forme amorphe à une forme compacte en hélice qui empêche l'eau de pénétrer dans la molécule ; d'autre part, la dépolymérisation qui raccourcit les fragments non ramifiés des chaînes constitutives des amidons réduisant ainsi leur capacité de gonflement.

La dépolymérisation peut être obtenue de plusieurs manières :

- en appliquant des traitements hydrothermiques drastiques comme le séchage sur cylindres ou la cuisson-extrusion qui provoquent l'éclatement des grains d'amidon, puis déplient et cassent les chaînes constitutives (Jansen *et al.*, 1981 ; Colonna et Buléon, 1994) ;
- par hydrolyse acide qui solubilise préférentiellement les zones amorphes des grains d'amidon en s'attaquant aux liaisons hémiacétals alpha(1-4) terminales des chaînes d'amylopectine et d'amylose provoquant ainsi une réduction de leur longueur ;
- enfin par hydrolyse enzymatique en utilisant des alpha-amylases qui en s'attaquant au hasard aux liaisons alpha(1-4) non terminales des chaînes permettent l'obtention de dextrans ramifiées ou non dont le degré de polymérisation dépend de l'état du substrat et des conditions hydrolyses, en particulier de la durée, du pH et de la température.

Compte tenu du prix de revient des traitements nécessaires à la dépolymérisation des amidons par les deux premiers types de procédés, de l'impossibilité de les réaliser au niveau familial et des difficultés que poserait la légalisation du procédé d'hydrolyse acide, c'est l'hydrolyse enzymatique qui apparaît comme le procédé le plus intéressant.

Il existe plusieurs sources naturelles d'alpha-amylases potentiellement utilisables :

- les alpha-amylases animales : décoction de pancréas ; salive humaine ; lait maternel... ;
- les alpha-amylases bactériennes produites industriellement ou provenant du développement de souches non pathogènes sur le substrat lui-même ;
- les alpha-amylases végétales naturellement présentes dans certains végétaux ou apparaissant au moment de la germination des graines ou des tubercules.

Les solutions le plus souvent proposées par les différents auteurs pour augmenter la densité énergétique des bouillies préparées à partir de produits de base tropicaux ont

été jusqu'à maintenant la fermentation préalable des principaux composants amylicés (Tomkins *et al.*, 1989) et l'emploi de céréales germées ou l'incorporation de petites quantités de farines de céréales germées particulièrement riches en amylases (Desikachar, 1980 ; Brandtzaeg *et al.*, 1981 ; Desikachar, 1982 ; Mosha et Svanberg, 1983 ; Gopaldas *et al.*, 1988 ; 1989 ; Malleshi et Amla, 1989 ; Mosha et Lorri, 1989). A ces deux sources nous pouvons ajouter les enzymes produites industriellement que les travaux que nous avons menés ont conduit à proposer, en particulier pour l'incorporation dans des farines produites en petits ateliers (Trèche et Giamarchi, 1991 ; Sanogo, 1994 ; Trèche et Legros, 1994).

3.2. Effets de la fermentation

L'utilisation de céréales fermentées pour la préparation de bouillies de sevrage se rencontre dans de nombreux pays (Tomkins *et al.*, 1989 ; Cornu *et al.*, 1993) : *ogi* nigérian ; *poto-poto* congolais ; *mabewu* sud africain ; *uji* du Kenya ; *Kenkey* ghanéen ; le *Bogobe* du Botswana ; le *nasha* du Soudan ; l'*obusera* de l'Ouganda ; le *njera* d'Ethiopie ; le *motoho* ou le *leshele-shele* du Lesotho...

En Tanzanie, l'utilisation d'une farine appelée *udaga* dérivée de racines de manioc fermentées à l'air permet de réduire la viscosité des bouillies mais, cette fermentation apparaît comme difficilement maîtrisable (Hakimjee et Lindgreen, 1989 ; Mlingi, 1989).

La fermentation, qui présente de nombreux avantages, notamment au niveau de l'acceptabilité des produits et de la réduction des risques de contamination microbienne (Mensah *et al.*, 1991 ; Svanberg *et al.*, 1992 ; Lorri et Svanberg, 1994), peut diminuer de façon notable la viscosité dans des bouillies de faible ou moyenne concentration en matière sèche, mais jusqu'à maintenant aucune étude n'a démontré la possibilité d'obtenir par simple fermentation des bouillies de densité énergétique supérieure à 100 Kcal/100 ml.

3.3. Utilisation de céréales germées

L'incorporation de quantités croissantes de farines de céréales germées permet de réduire considérablement la viscosité de bouillies de sevrage préparées à une concentration satisfaisante (figure 5).

Mais les quantités de farines germées à introduire peuvent varier considérablement en fonction du substrat : pour obtenir des bouillies ayant à la fois une concentration égale à 30 g MS/100 g et une viscosité de 1 Pa.s, il faut utiliser respectivement 3 fois, 2

fois 1/2 et 2 fois plus de farine de maïs germé avec des bouillies de riz, maïs, et mil qu'avec une bouillie de manioc (figure 6).

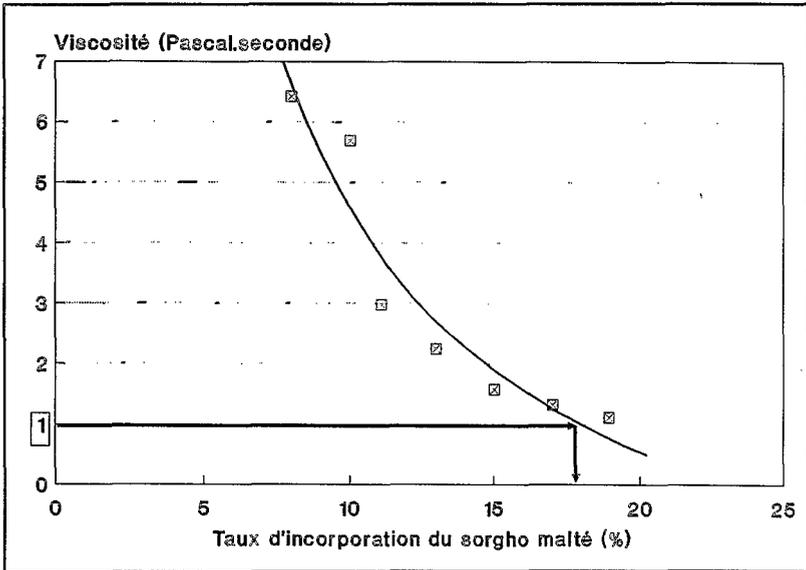


Figure 5

Effet de l'addition de sorgho malté sur la viscosité de bouillies à base de manioc préparées à la concentration de 30 g MS pour 100 g de bouillie.

Ce qui signifie que pour une viscosité donnée, l'augmentation de concentration, donc de densité énergétique, permise par une quantité donnée de farine de céréale germée est beaucoup plus importante pour les bouillies de manioc que pour celles de céréales comme le maïs (figure 7).

Les conditions optimales de germination des grains de sorgho ou de maïs sont les suivantes :

- décorticage manuel des grains de sorgho, pour ôter les glumes et les glumelles, ou égrenage des épis de maïs ;
- trempage des grains dans de l'eau à température ambiante durant 24 heures ;
- dépôt des grains sur un tissu maintenu humide à température ambiante et à l'abri des rayons directs du soleil ; cette phase de germination dure environ 48 heures, jusqu'à apparition d'une plantule de 5 cm environ ;
- séchage au soleil des grains germés pendant 2 à 3 jours ;
- dégermage manuel des grains par ablation des plantules séchées ;
- écrasement des grains dégermés avec un pilon ou un broyeur à marteaux.

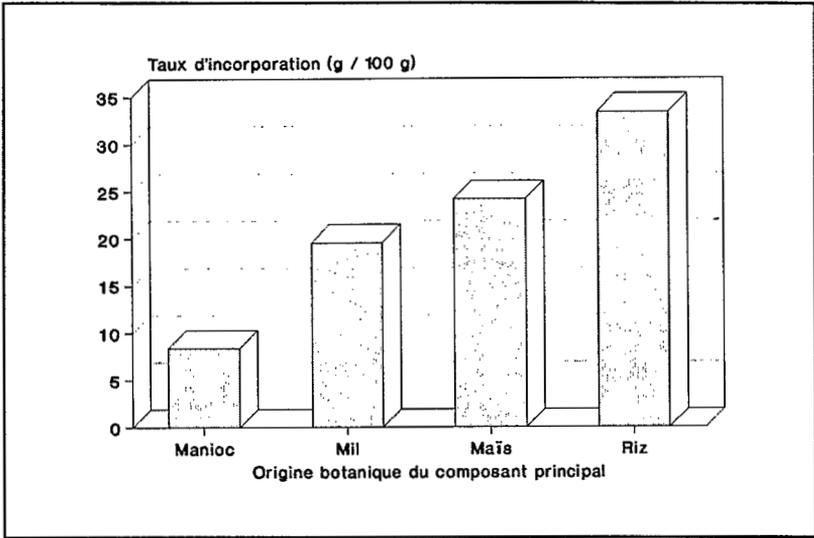


Figure 6

Taux d'incorporation de farine de maïs germé nécessaire pour obtenir des bouillies de viscosité 1 Pa.s à la concentration de 30 g MS pour 100 g de bouillie en fonction de l'origine botanique du composant principal.

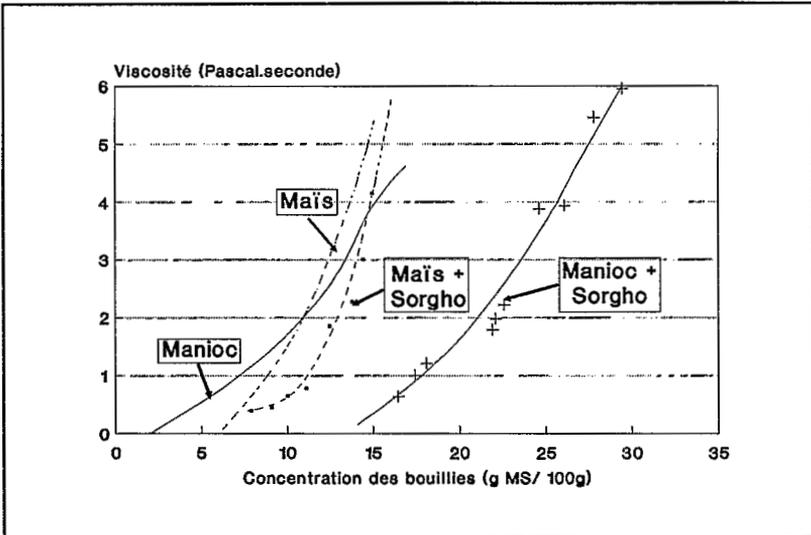


Figure 7

Effet de l'addition de 10 % de farine de sorgho malté sur la viscosité de bouillies de manioc et de maïs.

L'efficacité des farines de céréales germées à réduire la viscosité des bouillies peut se mesurer en dosant leur activité amylolytique (Bernfeld, 1955). Il existe au niveau de cette activité amylolytique une importante variation inter- et intra-spécifique et, pour une variété donnée, elle varie avec les éventuels traitements subis antérieurement par les graines, en particulier leur durée de stockage.

Etant donné qu'elle ne nécessite que des ingrédients généralement disponibles au niveau de chaque ménage, la préparation de bouillies de densité énergétique améliorée en utilisant de la farine de céréales germées est en principe possible dans chaque famille. Les modes de préparation doivent tenir compte de la nature et des caractéristiques des disponibilités alimentaires. Un exemple peut être donné pour un contexte d'Afrique Centrale où les seuls aliments disponibles utilisables sont le manioc, la pâte d'arachide ou de courge et de faibles quantités de maïs (Trèche, 1994) : la formule calculée de façon à permettre la préparation de bouillies ayant une teneur en protéines de 10 g/100 g de matière sèche et une concentration d'environ 30 g de matière sèche pour 100 ml de bouillie est la suivante : 65 % de pâte de manioc, 32 % de pâte d'arachide et 3 % de farine de maïs germé (figure 8).

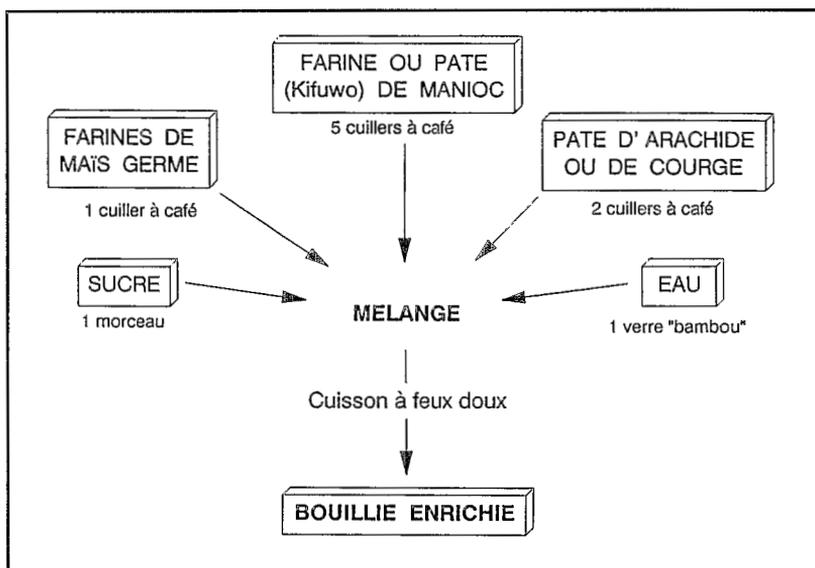


Figure 8

Exemple de schéma de fabrication d'une bouillie enrichie et de densité énergétique améliorée pour un contexte d'Afrique Centrale.

Le mode de préparation de la bouillie est très simple : on dilue dans de l'eau froide l'ensemble des ingrédients, on chauffe à feu doux en remuant jusqu'à l'apparition de bulles et on maintient à ébullition pendant 5 minutes avant de laisser refroidir.

Différents essais à l'échelle pilote ont montré qu'il était possible de vulgariser ces procédés au niveau des ménages. Toutefois, une part importante des réticences rencontrées tient au fait que la préparation des farines de céréales germées demande un temps de préparation relativement long. Ces difficultés de préparation nous ont amenés à proposer d'autres sources enzymatiques lorsque les farines infantiles étaient produites en ateliers de fabrication.

3.4. L'utilisation d'enzymes produites industriellement

Compte tenu de leur prix de vente réduit, l'idée a été d'incorporer dans les farines de sevrage produites dans de petits ateliers artisanaux des enzymes importées produites industriellement.

Des travaux effectués en laboratoire ont permis de sélectionner une enzyme de qualité alimentaire, la BAN produite par NOVO Industries A/S, dont les caractéristiques (tableau 1) lui permettent d'agir sur les molécules constitutives de l'amidon au moment de la préparation des bouillies par les mères (Trèche *et al.*, 1991 ; Trèche et Giamarchi, 1991). En effet, sa température optimale d'activité (72°C) la rend particulièrement efficace dans une zone de température où les grains d'amidon ont dépassé leur température de gélatinisation et sont donc particulièrement sensibles aux amylases; par ailleurs, le fait que cette enzyme soit détruite lorsque la bouillie est maintenue à ébullition pendant un temps suffisant évite que celle-ci se liquéfie au cours de son refroidissement.

De très faibles quantités de BAN sont suffisantes pour réduire considérablement la viscosité de bouillies (figure 9) mais comme avec les farines de céréales germées on constate que les quantités de BAN nécessaires pour obtenir des bouillies de même concentration et de même viscosité varient considérablement en fonction de la nature de l'ingrédient principal de la bouillie (figure 10) : l'augmentation de concentration, donc de densité énergétique, permise par l'incorporation de BAN pour une viscosité donnée est beaucoup plus importante avec le manioc qu'avec des céréales comme le maïs.

Un exemple de schéma de fabrication de farines de sevrage de densité énergétique améliorée utilisant des enzymes produites industriellement est donné sur la figure 11 (Sanogo, 1994 ; Trèche et Legros, 1994 ; Trèche *et al.*, 1995).

Tableau 1
Caractéristiques de l'enzyme industrielle utilisée dans l'atelier *Vitafort* au Congo.

NOM :	BAN 800 MG (Novo Industries A/S)
NATURE ET ORIGINE :	Endo-amylase bactérienne (<i>Bacillus subtilis</i>)
FORME :	microgranulé
EMBALLAGE :	fût de 40 Kg
DUREE DE STOKAGE :	6 mois à 25° C ; plus d'un an à 5° C
PRIX APPROXIMATIF :	300 FF /Kg rendu au Congo
INNOCUITE :	Conforme aux spécifications recommandées par FAO/WHO/JEFCA et FCC pour les enzymes de qualité alimentaire
ACTIVITE AMYLASIQUE :	800 KNU (*) par gramme
PH OPTIMAL :	6,0
TEMPERATURE OPTIMALE :	72° C (de 42 à 85 ° C l'activité relative reste supérieure au 2/3 de l'activité optimale)
PRODUITS DE DEGRADATION :	Dextrines de différents degrés de polymérisation ; oligosaccharides

(*) KNU (Kilo-Unité Alpha-amylase Novo) : quantité d'enzyme qui dégrade 5,26 g d'amidon soluble (Merck, Erg B6) par heure selon la méthode standard Novo.

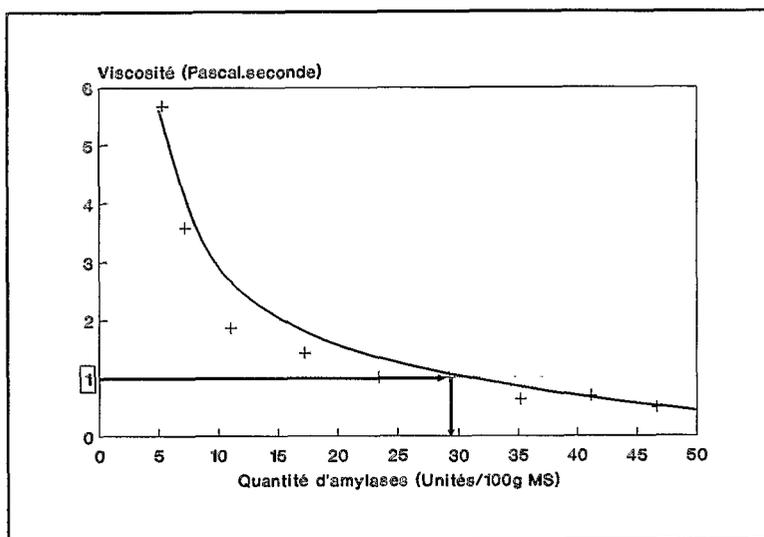


Figure 9

Effet de l'addition de BAN sur la viscosité de bouillies à base de manioc préparées à la concentration de 30 g MS pour 100 g de bouillie.

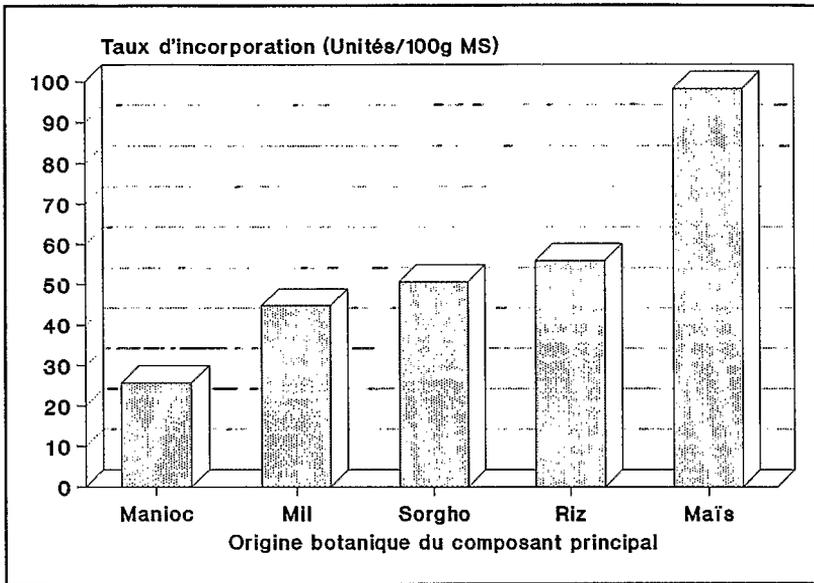


Figure 10

Influence de l'origine botanique du composant principal de la bouillie sur la quantité de BAN nécessaire pour limiter à 1 Pa.s la viscosité de bouillies préparées à la concentration de 30 g/100 g de bouillie.

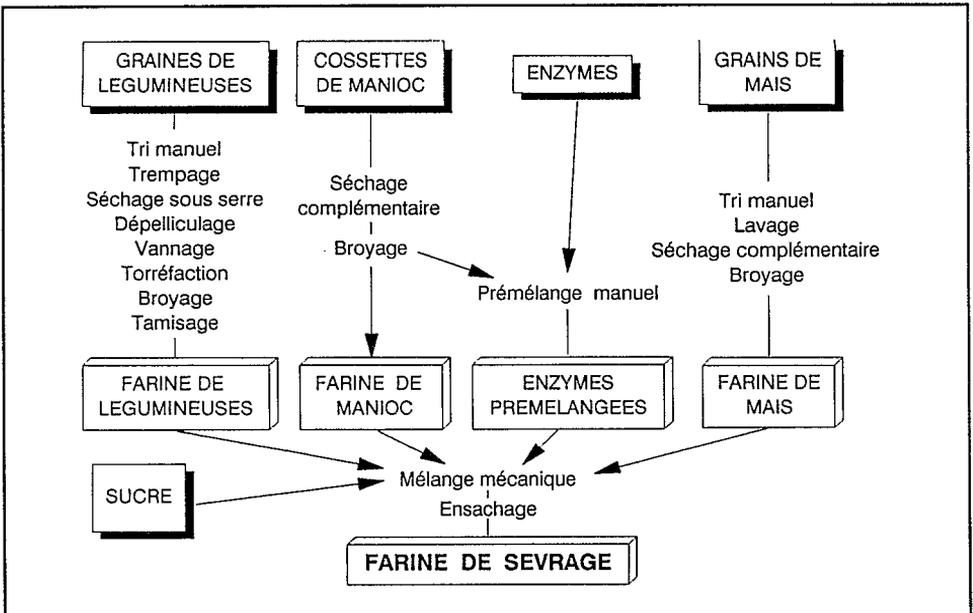


Figure 11

Schéma de fabrication d'une farine infantile à base de maïs et de manioc permettant la préparation de bouillies de densité énergétique améliorée.

4. FACTEURS A PRENDRE EN COMPTE LORS DE LA MISE EN OEUVRE DE TRAITEMENTS ENZYMATIQUES

Comme nous l'avons déjà vu l'efficacité des procédés basés sur l'incorporation de sources enzymatiques pour réduire la densité énergétique des bouillies dépend de la plus ou moins grande activité amylolytique de la source enzymatique et de l'origine botanique des amidons contenus dans les bouillies, mais il existe d'autres facteurs à prendre en compte au cours de la mise au point de procédés transférables au niveau des ateliers ou des ménages.

4.1. Le pH de la bouillie

La plupart des alpha-amylases ont des activités maximales à des pH légèrement acides : 4,7 à 5,4 pour les malts d'orge ; 6 pour la BAN.

Pour la BAN nous avons vérifié que sa capacité à réduire la viscosité de bouillies préparées à une concentration optimum était à peu près stable dans la zone de pH 5,5 à 9 (figure 12). Mais il n'est pas possible d'utiliser ces alpha-amylases avec des aliments fermentés dont les pH sont le plus souvent inférieurs à 4.

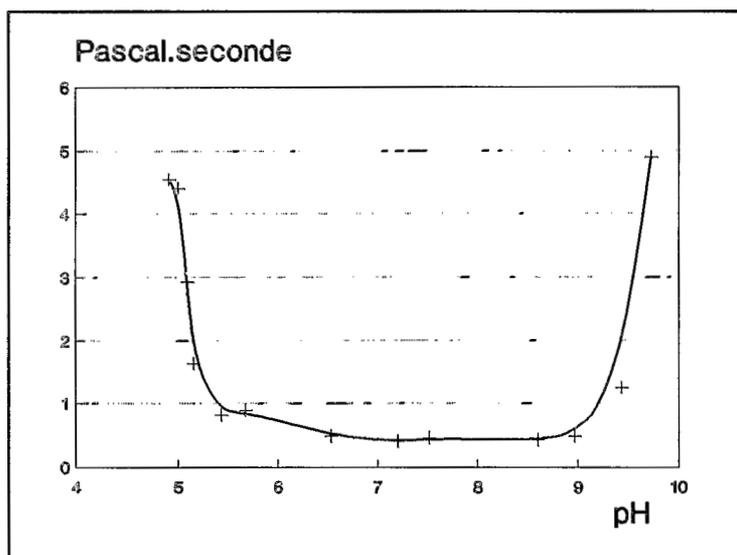


Figure 12

Influence du pH de la bouillie sur l'efficacité de la BAN à réduire la viscosité de bouillies de manioc préparées à la concentration de 27 g pour 100 g de bouillie.

4.2. La nature des autres constituants de la bouillie

La plupart des exemples donnés jusqu'à maintenant concernaient des mélanges simples composés d'une farine riche en amidon et d'une source enzymatique. Les aliments de sevrage contiennent généralement en plus une source protéique, du sucre et des compléments minéraux et vitaminiques. En fonction de leur composition et des quantités incorporées certains de ces ingrédients peuvent n'avoir qu'un effet négligeable sur la viscosité de la bouillie (compléments minéraux et vitaminiques), permettre une augmentation de la densité énergétique sans modification notable de la viscosité (sucre, corps gras) ou bien être responsable d'une augmentation importante de la viscosité (farine de haricot) (figure 13). Il est donc nécessaire de tenir compte de tous les ingrédients incorporés lorsqu'on détermine les quantités de sources enzymatiques à introduire dans les bouillies.

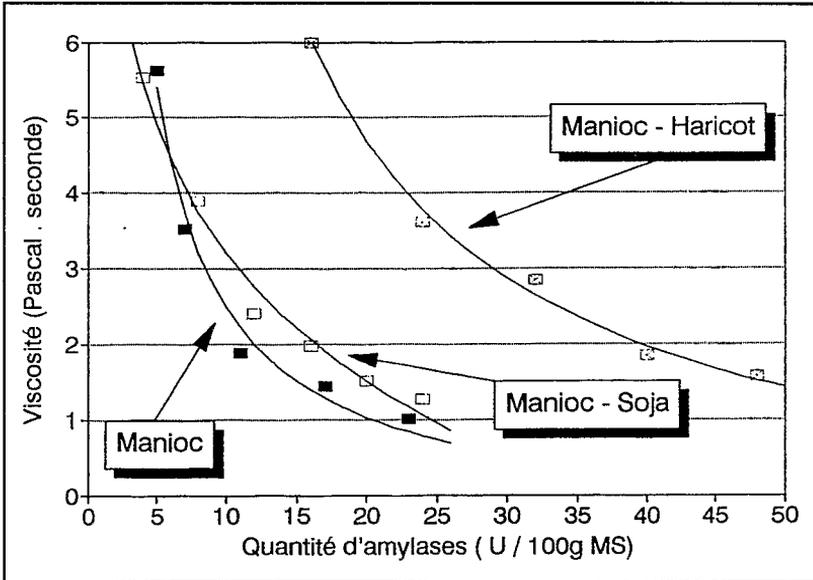


Figure 13

Effets du taux d'incorporation de BAN sur la viscosité de bouillies préparées à la concentration de 30 g / 100 g de bouillie en fonction de la nature des ingrédients utilisés.

4.3. Les modes de préparation des bouillies

Pour bien comprendre l'importance des modes de préparation des bouillies sur l'efficacité des traitements enzymatiques, il est indispensable d'avoir à l'esprit, d'une part, que les amidons ne sont vraiment sensibles aux enzymes que lorsque, en solution

dans l'eau, ils ont dépassé leur température de gélatinisation, c'est à dire 55 à 65°C et, d'autre part, que les enzymes sont inactivées au delà d'une certaine température dépendante du type d'enzyme.

L'efficacité du procédé dépendra donc de la durée pendant laquelle des enzymes encore actives seront en contact avec l'amidon déjà gélatinisé, c'est à dire la durée pendant laquelle l'aliment de sevrage dilué dans de l'eau restera à une température comprise entre environ 60° et 80°C en fonction des sources enzymatiques.

Cette durée dépend du mode de préparation. Le mode apparemment le plus simple consiste à diluer tous les ingrédients dans de l'eau froide et à chauffer progressivement

jusqu'à l'apparition de bulles en surface puis de maintenir un certain temps à ébullition. C'est celui utilisé en conditions standardisées de chauffage dans tous les essais que nous avons exposés jusqu'à maintenant.

Pour ce mode de préparation nous avons pu vérifier que l'efficacité du procédé, c'est à dire la viscosité des bouillies préparées variait légèrement avec la puissance de chauffe c'est à dire la vitesse de chauffage (figure 14).

Par ailleurs nous avons comparé ce mode de préparation (A) à plusieurs autres, en particulier à celui qui consiste à retirer du feu la casserole en cours de cuisson de façon à laisser aux enzymes le temps d'agir (B) et à un troisième, se rapprochant du mode traditionnel de préparation au Congo, consistant à verser dans de l'eau bouillante l'aliment de sevrage préalablement mis en suspension dans de l'eau froide et à laisser à l'enzyme du temps pour agir avant de remettre sur le feu le récipient utilisé pour la cuisson (C). Pour le mélange manioc/sorgho malté, c'est le procédé C, bien que son efficacité dépende des volumes respectifs d'eau bouillante et d'eau froide utilisés, qui est le plus performant pour réduire la viscosité (tableau 2).

Notons que pour d'autres mélanges, d'autres modes de préparation sont susceptibles de se révéler les plus efficaces. Le choix de la source et des quantités d'enzymes à incorporer est donc indissociable de celui du mode de préparation.

4.4. Les traitements technologiques subis par les sources d'amidon de la bouillie

Différents essais ont montré que la granulométrie des farines de céréales ou de tubercules influait peu sur l'efficacité du procédé lorsque les particules restaient inférieures à 0,8 mm. En revanche, les traitements thermiques, comme le grillage des grains de maïs avant mouture ou le séchage complémentaire de cossettes de manioc sur

des plaques métalliques chauffées, pouvaient augmenter ou diminuer notablement la sensibilité des amidons aux enzymes.

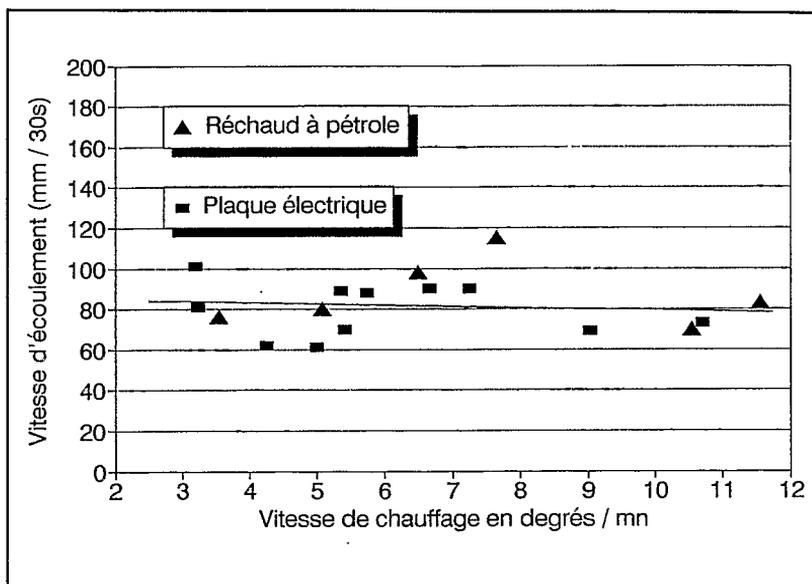


Figure 14

Effet de la rapidité de chauffage sur l'efficacité de la BAN (12 U/100 g matière sèche) à réduire la viscosité de bouillies de manioc préparées à la concentration de 30 g pour 100 ml de bouillie.

Tableau 2

Variation de la viscosité de bouillies de manioc/sorgho (90/10 ; m/m) préparées à la concentration de 30 g MS pour 100 g de bouillie en fonction de leur mode de préparation.

Procédé de préparation	Viscosité
A : - Dilution de la farine dans de l'eau froide - Chauffage progressif jusqu'à l'apparition de bulles (85°C) - Maintien 5 min à ébullition	5,38 Pa.s
B : - Dilution de la farine dans de l'eau froide - Chauffage jusqu'à 65°C et maintien 5 min hors du feu - Chauffage progressif jusqu'à l'apparition de bulles (85°C) - maintien 5 min à ébullition	2,47 Pa.s
C :- Versement dans de l'eau bouillante de la farine diluée dans un peu d'eau froide et maintien 5 min en dehors du feu - Chauffage progressif jusqu'à l'apparition de bulles (85°C) - maintien 5 min à ébullition	1,10 Pa.s

5. MARCHE A SUIVRE POUR METTRE AU POINT UN TRAITEMENT ENZYMATIQUE

Les différentes étapes, dans l'ordre chronologique, sont :

- réunir des informations sur la situation nutritionnelle des enfants de moins de deux ans et sur les pratiques de sevrage observées afin de déterminer dans quelle mesure cette augmentation est nécessaire : les éléments de décision les plus importants sont la nature des bouillies actuellement utilisées et leur fréquence journalière de distribution ;
- établir à partir des aliments localement disponibles des formules possibles d'aliments de sevrage permettant de couvrir les besoins en nutriments lorsque les apports en énergie sont couverts ;
- décider, en fonction du contexte d'utilisation, si des procédés hydrothermiques classiques (cuisson extrusion, séchage sur cylindre...) peuvent être utilisés où s'il est nécessaire, pour augmenter la densité énergétique des bouillies, de recourir à des traitements enzymatiques généralement moins coûteux et plus faciles à mettre en oeuvre dans le contexte technologique des pays en développement ;
- que ce soit au niveau d'ateliers ou au niveau des ménages vérifier, d'une part, que la fabrication de ces formules ne pose pas de problème technologique insurmontable, et d'autre part, que ces formules peuvent effectivement être préparées avec la qualité nutritionnelle escomptée et qu'elles sont acceptables non seulement du point de vue organoleptique mais aussi du point de vue culturel et économique ;
- enfin seulement choisir la source enzymatique la plus appropriée et déterminer les quantités à incorporer.

Ce choix de la source enzymatique sera en principe différent selon que l'aliment de sevrage est destiné à être préparé dans des ateliers ou au niveau des ménages.

Au niveau des ateliers, le prix de revient et la nécessité de fabriquer des produits de qualité constante seront les éléments déterminants : la source la moins onéreuse, de qualité la plus constante et la plus commode d'emploi semble être les enzymes produites industriellement. Leur seul inconvénient est de devoir, dans la plupart des pays en développement, être importées mais les quantités nécessaires restent très faibles. D'autres sources peuvent être envisagées : les malts d'orge utilisés dans les brasseries dans la mesure où ils pourraient être revendus à des prix intéressants ; la production de farines de céréales locales germés à condition d'obtenir des activités amylolytiques à peu près constantes.

Au niveau des ménages et des communautés, la solution la plus appropriée semble être l'utilisation de farines de céréales germées en dépit de la durée de leur préparation. D'autres solutions ont été ou peuvent être envisagées : addition dans les bouillies préparées à de fortes concentration de salive ou de lait maternel afin que les amylases

réduisent leur viscosité ; utilisation d'autres sources d'amylases naturelles (farines de tubercules germés, écorce de certaines plantes...).

L'étape suivante consiste à déterminer les quantités de la source enzymatique à introduire en fonction du mode de préparation des bouillies qui sera recommandé : pour cela des bouillies à la densité énergétique souhaitée sont préparées selon le procédé choisi en utilisant des quantités croissantes d'enzymes jusqu'à ce que l'on obtienne des bouillies ayant la consistance désirée.

En principe, la viscosité se mesure de manière standardisée à l'aide d'un viscosimètre rotatif qui est un appareil relativement coûteux. Au cours de nos travaux nous avons mis en évidence que la consistance des bouillies pouvait également être mesurée à l'aide d'une sorte de consistomètre commercialisé sous l'appellation polyvisc par la firme Kinematica et dont le principe consiste à mesurer la distance parcourue par le front d'un fluide dans un laps de temps donné. Pour un amidon donné, les mesures effectuées au polyvisc sont étroitement corrélées à celles réalisées au viscosimètre, ce qui permet de l'utiliser pour mesurer dans des conditions relativement rigoureuses et reproductibles la consistance des bouillies (figure 15). Mais en première approximation les quantités d'enzymes à introduire peuvent être déterminées en estimant sans appareillage spécial la consistance des bouillies.

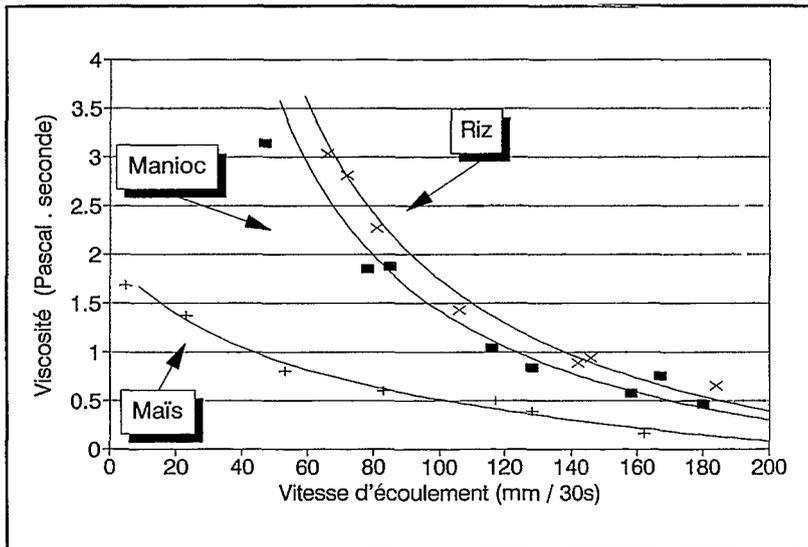


Figure 15

Relation entre la viscosité et la vitesse d'écoulement de bouillies préparées à la concentration de 30 g MS pour 100 ml de bouillie après traitement enzymatique en fonction de la nature de l'ingrédient principal.

6. CONCLUSION

Il existe des contextes dans les pays en développement, notamment en Afrique, où l'augmentation des apports en énergie et en nutriments essentiels dans l'alimentation des enfants pendant la période de sevrage semble pouvoir être facilement réalisée en améliorant la densité énergétique des bouillies.

Différents procédés utilisant des amylases naturelles ont été étudiés, mais jusqu'à maintenant n'ont été vulgarisés qu'à l'échelle pilote dans certaines zones, en particulier en Afrique de l'Est. Bien que la préparation de farines de céréales germées demande du temps, leur incorporation dans les bouillies est un procédé efficace réalisable aussi bien dans de petites unités de production que dans les ménages. Au niveau de ces derniers, c'est souvent le seul procédé utilisable. Pour les unités artisanales de fabrication de farines de sevrage, l'utilisation d'enzymes industrielles est une alternative très efficace d'une grande commodité d'emploi et d'un coût réduit.

Sauf lorsque les bouillies n'entrent que pour une faible part dans l'alimentation de complément au lait maternel ou quand les modes de vie permettent d'en distribuer au moins 4 fois par jour aux jeunes enfants, la mise à disposition des enfants de bouillies de sevrage de densité énergétique suffisante devrait constituer une des priorités de toute stratégie ayant pour objectif l'amélioration de l'alimentation des enfants pendant la période de sevrage.

REFERENCES

- ALVINA M., VERA G., PAK N., ARAYA H., 1990 - Effect of the addition of malt flour to extruded pea-rice preparations on food and energy intake by preschool children. *Ecology of Food and Nutrition*, 24 : 189-193.
- ASHWORTH A., DRAPER A., 1992 - *The potential of traditional technologies for increasing the energy density of weaning foods*. WHO/CDD/EDP/92.4, Genève, OMS, 50 p.
- BERNFELD P., 1955 - « amylase, alpha et beta ». In Colowick S.P., Kaplan N.O., éd : *Methods in enzymology* 1, New-York, Academic press : 149.
- BRANDTZAEG B., MALLESHI N.G., SVANBERG U., DESIKACHAR H.S.B., MELLANDER O., 1981 - Dietary bulk as a limiting factor for nutrient intake in pre-school children. III. Studies of malted flour from ragi, sorghum and green gram. *Journal of Tropical Pediatrics*, 27 : 184-189.

BROWN K.H., 1991 - The importance of dietary quality versus quantity for weanlings in less developed countries : a framework for discussion. *Food and Nutrition Bulletin*, 13 (2) : 86-94.

BROWN K.H., DICKIN K.L., BENTLEY M.E., ONI G.A., OBASAJU V.T., ESREY S.A., MEBRAHTU S., ALADE I., STALLINGS R.Y., 1989 - « La consommation de produits de sevrage à base de céréales fermentées dans l'Etat de Kwara, Nigéria ». In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., éd : *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique orientale et australe : une technologie à la portée des ménages*, Compte-rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12-16 Octobre 1987, IDRC-265f, Ottawa : 208-227.

COLONNA P., BULEON A., 1994 - « Transformations structurales de l'amidon ». In Colonna P., Della Valle G., éd : *La cuisson extrusion*, Paris, Collection sciences et techniques agro-alimentaires, Lavoisier : 18-43.

CORNU A., TRECHE S., MASSAMBA J.P., MASSAMBA J., DELPEUCH F., 1993 - Alimentation de sevrage et interventions nutritionnelles au Congo. *Cahiers Santé*, 3 : 168-177.

CREED DE KANASHIRO H., BROWN K.H., LOPEZ DE ROMANA G., LOPEZ T., BLACK R.E., 1990 - Consumption of food and nutrients by infants in Huascar (Lima), Peru. *Am. J. Clin. Nutr.*, 52 : 995-1004.

DESIKACHAR H.S.R., 1980 - Development of weaning foods with high caloric density and low hot-paste viscosity using traditional technologies. *Food and Nutrition Bulletin*, 2 : 21-23.

DESIKACHAR H.S.R., 1982 - Technology options for formulating weaning foods for the economically weaker segments of populations in developing country. *Food and Nutrition Bulletin*, 4 : 57-59.

GOLPADAS T., 1984 - « Malted versus roasted weaning mixes : development, storage, acceptability and growth trials ». In Achaya K.T., éd : *Interfaces between agriculture, nutrition and Food Science*, Tokyo, UNU : 293-307.

GOLPADAS T., DESHPANDE S., JOHN C., 1988 - Studies on a wheat based amylase-rich food. *Food and Nutrition Bulletin*, 10 : 55-59.

GOLPADAS T., MEHTA P., JOHN C., 1989 - « La réduction du volume des gruaux de sevrage traditionnels en Inde ». In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., éd : *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique orientale et australe : une technologie à la portée des ménages*, Compte-rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12-16 Octobre 1987, IDRC-265f, Ottawa : 375-385.

- GOPALDAS T., MEHTA P., PATIL A., GANDHI H., 1986 - Studies on reduction in viscosity of thick rice gruels with small quantities of an amylase-rich cereal malt. *Food and Nutrition Bulletin*, 8 : 42-47.
- HAKIMJEE M., LINDGREN S., 1989. « Les produits à base de manioc fermenté en Tanzanie ». In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., éd : *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique orientale et australe : une technologie à la portée des ménages*, Compte-rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12-16 Octobre 1987, IDRC-265f, Ottawa : 252- 260.
- HELLSTROM A., HERMANSSON A.M., KARLSSON A., LJUNGQVIST B.G., MELLANDER O., SVANBERG U., 1981 - Dietary bulk as a limiting factor for nutrient intake in pre-school children. II. Consistency as related to dietary bulk - a model study. *Journal of Tropical Pediatrics*, 27 : 127-135.
- JANSEN G.R., O'DEEN L. TRIBELHORN R.E., HARPER J.M., 1981 - The calorie densities of gruels made from extruded corn-soy blends. *Food and Nutrition Bulletin*, 3 : 39-44.
- KARLSSON A., SVANBERG U., 1982 - Dietary bulk as a limiting factor for nutrient intake in pre-school children. IV. Effect of digestive enzymes on the viscosity of starch-based weaning foods. *Journal of Tropical Pediatrics*, 28 : 230-234.
- LJUNGQVIST B.G., MELLANDER O., SVANBERG U., 1981 - Dietary bulk as a limiting factor for nutrient intake in pre-school children. I. A problem description. *Journal of Tropical Pediatrics*, 27 : 68-73.
- LORRY W., SVANBERG U., 1994. Lower prevalence of diarrhoea in young children fed lactic-acid fermented cereal gruels. *Food and Nutrition Bulletin*, 15 (1) : 57-63.
- MALLESHI N.G., AMLA B.L., 1989 - « Les produits de sevrage maltés en Inde ». In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., éd : *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique orientale et australe : une technologie à la portée des ménages*, Compte-rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12-16 Octobre 1987, IDRC-265f, Ottawa : 386-394.
- MENSAH P., TOMKINS A.M., DRASAR B.S., HARRISON T.J., 1991 - Antimicrobial effect of fermented Ghanaian maize dough. *Journal of applied Bacteriology*, 70 : 203-210.
- MLINGI N.V.L., 1989 - « La réduction du volume des aliments de sevrage à base de manioc par la fermentation ». In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., éd : *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique orientale et australe : une technologie à la portée des ménages*, Compte-rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12-16 Octobre 1987, IDRC-265f, Ottawa : 239-251.

MOSHA A.C., LORRI W.S.M., 1989 - « Les produits de sevrage à forte teneur nutritive faits de céréales germées ». In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., éd : *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique orientale et australe : une technologie à la portée des ménages*, Compte-rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12-16 Octobre 1987, IDRC-265f, Ottawa : 327-340.

MOSHA A.C., SVANBERG U., 1983 - Preparation of weaning foods with high nutrient density using flour of germinated cereals. *Food and Nutrition Bulletin*, 5 : 10-14.

MUJIBUR RAHMAN M., AMINUL ISLAM M., MAHALANABIS D., BISWAS E. MAJID N. WAHED M.A., 1994 - Intake from an energy-dense porridge liquefied by amylase of germinated wheat : a controlled trial in severely malnourished children during convalescence from diarrhoea. *European Journal of Clinical Nutrition*, 48 : 46-53.

NICOL B.M., 1971 - Protein and calorie concentration. *Nutrition reviews*, 29 : 83-88.

RUTISHAUSER I.H.E., 1974 - Factors affecting the intake of energy and protein in Ugandan pre-school children. *Ecology of Food and Nutrition*, 3 : 213-222.

SANCHEZ GRINAN M.I., PEERSON J. BROWN K.H., 1992 - Effect of dietary energy density on total ad libitum energy consumption by recovering malnourished children. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46 : 197-204.

SANOGO M., 1994 - *La production artisanale de farines infantiles : expériences et procédés*. Paris, Les éditions du GRET, 80 p.

SVANBERG U., SJOGREN E., LORRI W., SVENNERHOLM A.M., KAIJSER B., 1992 - Inhibited growth of common enteropathogenic bacteria in lactic-fermented cereal gruels. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 8 : 601-606.

TOMKINS A., ALNWICK D., HAGGERTY P., 1989 - « L'emploi de produits fermentés pour améliorer l'alimentation des enfants d'Afrique australe et orientale ». In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., éd : *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique orientale et australe : une technologie à la portée des ménages*, Compte-rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12-16 Octobre 1987, IDRC-265f, Ottawa : 156-192.

TRECHE S., 1994 - A technology at the household level for the production of a high energy density cassava-based weaning food in Congo. *Communication affichée présentée à « International Meeting on cassava flour and starch », 11-15 janvier 1994, CIAT, Cali, Colombie.*

TRECHE S., GIAMARCHI P., 1991 - Utilisation d'enzymes produites industriellement pour l'amélioration de la densité énergétique des bouillies de sevrage. *Communication présentée au Séminaire-atelier sur les bouillies de sevrage en Afrique Centrale, 21-24 mai 91, Bureau régional de l'OMS, Brazzaville, Congo.*

TRECHE S., GIAMARCHI P., MIAMBI E., BRAUMAN A., 1991 - Use of cassava flour as energy source for weaning foods. *Communication présentée au séminaire-atelier "Avances sobre almidon de yucca", 17-20 juin 91, CIAT, Cali, Colombie.*

TRECHE S., GIAMARCHI P., PEZENNEC S., GALLON G., MASSAMBA J., 1992 - Les bouillies de sevrage au Congo : composition, valeur nutritionnelle et modalités d'utilisation. *Communication présentée aux 5èmes journées Internationales du GERM, 23-27 Novembre 1992, Balaruc, France.*

TRECHE S., LEGROS O., 1994 - A model pilot-plant for the production of cassava-based weaning food in Congo. *Communication affichée présentée à "International Meeting on cassava flour and starch", 11-15 janvier 1994, CIAT, Cali, Colombie.*

TRECHE S., LEGROS O., TCHIBINDAT F., 1995 - « Vitafort : un atelier pilote de fabrication de farine de sevrage à base de manioc au Congo ». In Agbor Egbe T., Brauman A., Griffon D., Trèche S., éd : *Transformation Alimentaire du Manioc*, Paris, Editions Orstom : sous presse.

TRECHE S., MASSAMBA J., GALLON G., CORNU A., 1993 - Utilization and nutritive value of traditional weaning gruels in rural Congo. *Communication affichée présentée au XVème Congrès International de Nutrition, Septembre 1993, Adelaide, Australie.*

VIS H.L., HENNART P., RUCHABABISHA M., 1981 - L'allaitement en zone rurale pauvre. *Carnets de l'enfance*, 55-56 : 171-189.

WALKER A.F., 1990 - The contribution of weaning food to protein-energy malnutrition. *Nutrition Research Reviews*, 3 : 25-47.