

## Agriculture et alimentation

Ernest Badertscher, Marianne Enckell, Manfred Steiner

Tout être vivant a besoin d'énergie, en quantité variable selon ses activités, son poids, son âge et le climat où il vit.

Un fourneau a lui aussi besoin d'énergie : ses besoins dépendent du climat, de la grandeur du local à chauffer et de la température à atteindre. Dans le corps humain, la « combustion » est réalisée dans les poumons. L'air aspiré alimente en oxygène le sang contenant les aliments digérés et liquéfiés. Ce mélange est distribué dans le corps par une super-pompe, le cœur. Le sang chargé des déchets revient aux poumons, où le CO<sub>2</sub> est éliminé lors de l'expiration. La consommation moyenne d'un être humain de 70 kg est d'environ 3650 MJ par an, ou 10 000 kJ par jour (2400 kcal). Comme pour le chauffage des immeubles, on trouve de gros et de petits consommateurs.

Les combustibles comme le bois ou le charbon peuvent se comparer aux hydrates de carbone et aux protéines ; les hydrocarbures sont similaires aux graisses alimentaires. La teneur en énergie est la même, à l'exception des minéraux ou sels inorganiques, et des aliments non digestibles comme les fibres.

Les produits alimentaires du commerce portent généralement des indications sur leur composition et leur contenu en énergie *utile*, exprimée en kcal (kilocalories) ou en kJ (kilojoules) par 100 g. Si nous ingurgitions l'énergie *primaire* nécessaire à la production et au conditionnement des aliments, cela suffirait à nous rendre plus qu'obèses.

En chiffres absolus, l'industrie alimentaire et l'agriculture ne sont pas de grosses consommatrices d'énergies non renouvelables par rapport aux énergies renouvelables qu'elles intègrent (soleil, travail humain...), mais la part de l'énergie est en augmentation si l'on considère tous les éléments de la production.

### Les aliments sur notre table

L'industrie de l'emballage et du conditionnement est un gouffre à énergies fossiles. Si les usines de production de papier peuvent parvenir à l'autonomie énergétique grâce à l'utilisation des sous-produits de récupération du bois, il n'en va pas de même de l'aluminium et des matières plastiques. Mais le choix d'un aliment tient pour une bonne part à son apparence, donc à son conditionnement, porteur de l'image de marque. Un million de petits pots de crème à café sont consommés chaque jour en Suisse : la mode de l'operculophilie n'est pas si innocente qu'elle y paraît.

Les habitudes alimentaires ont un grand rôle à jouer : la préférence donnée aux produits locaux, aux fruits et légumes de saison, au vrac sur les produits conditionnés, les modes de cuisson économiques avec une batterie de cuisine adéquate contribuent pour une large part aux économies d'énergie dans ce domaine.

#### *Sauce tomate*

Pour produire des tomates à l'échelle d'un jardin familial, la dépense énergétique est

peu chiffrable (à moins que l'on n'abuse des engrais) : quelques plantons, un peu d'eau, de soleil et de soins. Chez le maraîcher, s'ajoutent au travail humain le combustible pour la traction des engins, les engrais et produits phytosanitaires, les cageots et le transport au marché. Hors saison, nous achetons des tomates importées qui auront exigé du kérosène et des emballages pour voyager confortablement, toujours rouges et rebondies, et pour cause : les tomates hors sol sont dopées de plus de 100 joules par joule d'énergie utile <sup>1</sup>. La Hollande cultive des tomates toute l'année, dans des serres gigantesques chauffées au gaz naturel ; elle parvient à des prix si compétitifs, grâce aux subventions dont bénéficie l'énergie, qu'elle en exporte jusqu'en Hongrie, où elles sont vendues moins cher que la production locale. Même les tomates de serre pourraient mûrir en gaspillant moins d'énergie si les serres étaient mieux isolées et que le chauffage provienne de pompes à chaleur ou d'éoliennes.

Quant aux tomates pelées qui réjouissent nos spaghettis, elles sortent d'une boîte en fer blanc dont la fabrication représente plus d'énergie qu'elle n'en contient.

Les canettes de boissons ne valent pas mieux. La production d'aluminium est en effet grosse consommatrice d'énergie: il faut 65 Mégajoules pour faire un kilo d'aluminium, soit 1 kWh environ pour une boîte. Si des progrès notables ont été réalisés dans son intensité énergétique, l'utilisation de l'aluminium a probablement augmenté dans la même proportion au moins (le temps de doublement de la production d'aluminium était de moins de dix ans en 1975). L'aluminium recyclé est beaucoup moins gourmand et bien plus porteur d'avenir, puisque les ressources mondiales en bauxite risquent de s'épuiser d'ici 20 ou 30 ans. Cela implique évidemment que la consommation finale nette diminue.

### *L'errance des yogourts*

Un yogourt, c'est en principe du lait, un ferment, un peu de chaleur, éventuellement des fruits et du sucre, dans un gobelet. En Allemagne comme probablement ailleurs, un yogourt c'est aussi 8000 km de voyage avant consommation.

Les agriculteurs livrent en effet leurs produits – lait, fruits, fécule pour épaissir, betteraves sucrières – à des usines de transformation, qui envoient les produits semi-finis à la laiterie finale. Il en va de même pour toutes les matières composant le gobelet : verre ou plastic, alu, papier. Pour ce dernier, par exemple, la production de pâte se fait dans une région, celle de carton dans une autre, l'impression dans une troisième, l'encollage ailleurs encore. Une fois le yogourt empoté, il part vers d'autres horizons, centrales de distribution, magasins régionaux et détaillants, avant de parvenir chez les consommateurs.

Avec des laiteries décentralisées, l'utilisation de fruits et saveurs locaux et de saison, moins de sucres et d'additifs, des gobelets réutilisés <sup>2</sup>, on conçoit aisément que les yogourts pourraient contenir moins de combustible. Et la fabrication maison de yogourt ou de kéfir exige un peu de patience mais pas de hautes qualifications techniques ni d'autre énergie que celle du radiateur et du frigo.

<sup>1</sup> Weizsäcker et Lovins, *Facteur 4*, comme les autres exemples donnés dans ce chapitre.

<sup>2</sup> L'énergie nécessaire à produire un bocal de verre diffère peu de celle utilisée pour fabriquer un gobelet en plastique ou composite ; le résultat est fortement dépendant du taux de réutilisation.

Que les frais de voyage du yogourt soient réduits d'un facteur 4 ne changera quasiment rien à son prix, tant que le carburant restera bon marché ; mais cela pourra épargner, surtout si le transport se fait en camion, un bon nombre de litres de diesel et de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Intervenir à ce stade est plus important que d'inciter les mangeurs de yogourt à jeter dans trois poubelles le carton, le plastic et le couvercle en alu.

### *Le pain, le moulin, le boulanger*

Le pain, notre nourriture de base depuis des siècles, arrive sur notre table après avoir subi une série d'opérations.

En Europe, on produit environ 550 grammes de blé par m<sup>2</sup> de culture. Moulu, ce grain produit 440 g de farine bise ou 385 g de farine mi-blanche, le reste étant du son de blé. Le pain bis a été le plus consommé à travers les âges. Avec les 440 g de farine bise, le boulanger fabrique 625 g de pain. Pour le pain mi-blanc, les 385 g de farine fourniront 550 g de pain, soit exactement le même poids que le grain de départ.

Lorsqu'il arrive au moulin, le grain peut avoir subi une opération de séchage, selon les conditions météorologiques. Son humidité est d'environ 15 %, ce qui permet une bonne conservation et des conditions optimales pour la mouture.

La mouture ancienne se faisait par passage entre deux pierres rugueuses dont l'une est actionnée à la main ou par la force hydraulique, électrique ou animale. Cette méthode donne une farine complète un peu grossière. Un tamisage peut éliminer une partie des sons mais la farine reste « piquée ». c'est-à-dire qu'elle contient encore passablement de son trop finement moulu pour être éliminé par tamisage.

Le moulin à cylindres écrase délicatement et successivement le grain, en tamisant entre chaque passage dans une nouvelle paire de cylindres ; cela permet d'obtenir des farines très belles, sans piqure, mais d'un rendement assez peu élevé (80 % pour la farine bise, 70 % pour la mi-blanche et 55 % pour la farine fleur).

Les sels minéraux sont essentiellement liés au son. Le blé complet contient environ 2 g de cendres par 100 g. Dans la farine blanche, on a seulement 0,4 g de minéraux pour 100 g, contre 0,55 pour la mi-blanche et 0,8 pour la farine bise. Ces valeurs doivent nous faire réfléchir sur la valeur du pain blanc, d'autant plus qu'en éliminant les sons on élimine surtout les fibres. En Europe, la consommation de fibres est d'environ 10 g par personne et par jour, alors qu'on a besoin de 35 g.

Une technique qui existe depuis un siècle (eh oui !) sans avoir pratiquement jamais été exploitée est la mouture par moulin à broche ou à dents, tournant à très haute vitesse. Pour mieux séparer les sons de la farine, il suffit d'humidifier rapidement le grain avant la mouture ; le son, enveloppe du cœur contenant la farine, devient élastique sous l'influence de l'humidité. Ce moulin n'écrase pas le grain mais le fait éclater par une série de chocs successifs contre les dents ; la farine en ressort très fine, et les sons en grands flocons mous. Il suffit alors d'un seul tamisage pour obtenir la farine. En fonction du diamètre des mailles, on aura une farine mi-blanche à bise, très légèrement piquée mais avec un rendement nettement supérieur à un moulin à cylindre.

Par comparaison avec le système classique à cylindres, les investissements sont

nettement moindres en volume de bâtiment, en matériel technique, moulins, tamis, transporteurs, séparateurs, etc. On peut estimer que, pour un même débit, le rapport est de 1 à 10. L'énergie nécessaire est elle aussi divisée par dix. De plus, la mouture humide permet de simplifier les opérations en amont du moulin, soit les phases de nettoyage, d'épierrage, de dépoussiérage, d'élimination des métaux qui peuvent endommager les cylindres, ainsi que l'humidification continue classique.

Dans ces conditions, la réouverture de moulins ou de boulangeries de campagne semble rentable ; cela pourrait donc améliorer les revenus agricoles, diminuer la surproduction par la diversification des travaux et créer des emplois, avec du pain de meilleure qualité.

## **L'industrie agro-alimentaire**

Dans le secteur industriel, l'intensité énergétique (énergie spécifique par unité de produit) est en réduction constante, à un rythme annuel de 1,6 % pendant le dernier quart du XX<sup>e</sup> siècle. Pour la même période, la production industrielle s'est accrue de 150 % : le bilan est donc nul.

Les besoins en énergie varient énormément pour divers secteurs de l'industrie. Les gros consommateurs sont les machines, la chimie, la pierre, le papier, les textiles, la métallurgie et l'alimentation. En moyenne, la chaleur représente plus des deux tiers des besoins ; le tiers restant est nécessaire au travail, à la chimie et à l'éclairage. Si l'industrie a appliqué avec de bons résultats des procédés moins énergivores, c'est principalement pour des questions de coûts et de compétitivité, sans trop se préoccuper des problèmes environnementaux.

Dans l'agro-alimentaire, secteur en augmentation constante étant donné les possibilités de stockage de longue durée, de distribution et de qualité, les améliorations ont été parfois spectaculaires et les possibilités d'économies sont encore énormes. La consommation d'énergie finale y est de l'ordre de 1 à 2 % du chiffre d'affaires. Ce faible pourcentage n'incite pas toujours à mettre l'accent sur les économies ; cependant, en valeur absolue, les sommes mises en œuvre sont énormes. L'argent économisé par un contrôle strict des procédés serait beaucoup mieux placé en recherche et développement.

### **Le chaud et le froid**

L'industrie alimentaire fait un grand usage de chaleur à basse température : que ce soit en laiterie, sucrerie, distillerie, conserverie, les opérations de séchage, évaporation, déshydratation, pasteurisation, etc. font toujours appel à la chaleur à bas niveau. Dans toutes ces productions, des mesures d'économies d'énergie peuvent être prises : amélioration des rendements et de l'isolation thermique, valorisation des eaux chaudes résiduelles et des sous-produits (combustibles de substitution), nouveaux procédés de production de chaleur, substitution des sources d'énergie.

### *Utilisation de l'eau*

Dans l'industrie laitière de transformation, concentration et séchage, on utilisait 40 litres d'eau par litre de lait à traiter. Aujourd'hui, cette quantité n'est plus que de quelques litres. La principale raison a été la taxe d'épuration pour les eaux usées, mesure dissuasive, ainsi que les problèmes de disponibilité d'eau potable.

### *Utilisation de vapeur*

Lors des pasteurisations ou stérilisations, les nouveaux appareils à récupération de chaleur et des méthodes de contrôle dites du « pincement » ont permis des diminutions de plus de 50 % de la consommation d'énergie.

### [Encadré]

#### La méthode du pincement

L'intégration énergétique visant à utiliser l'énergie thermique pour différents usages, en une sorte de cascade exergetique, est l'une des approches les plus prometteuse en vue d'une utilisation rationnelle de l'énergie. La méthode du pincement (pinch technology) est une méthode d'intégration qui permet d'optimiser, à la fois sur le plan thermodynamique et sur le plan économique, les possibilités de récupération d'énergie (rejets thermiques) de tout type de procédé industriel (chimie, alimentaire, distribution d'énergie, etc.).

Les trois exemples suivants montrent des économies réalisées à la suite de cours de formation donnés par le Laboratoire d'énergétique industrielle de l'EPFL, sur la méthode du pincement.

*Raffineries du Rhône* : L'application de ces méthodes pour le raffinage du brut a permis d'économiser 40 000 tonnes de carburant, avec un investissement amorti sur 3 ans. Dans la même industrie, une amélioration de la chaudière a permis une amélioration de 7 400 tonnes de fuel oil par an, avec un amortissement en 7 mois.

*Ciba à Monthey* : L'amélioration d'une installation industrielle d'oxydation par voie humide a permis de récupérer 90 % de l'énergie disponible dans cette installation et d'économiser 250 000 m<sup>3</sup> d'eau industrielle. L'investissement de 600 000 francs est récupéré sur 2 ans.

*Eternit SA* : Cette entreprise a pu réduire les coûts de l'énergie thermique de 29 % et une réduction des coûts de service de 121 000 francs par an, avec un investissement amorti en 4 ans et demi.

[fin encadré]

Pour la concentration des liquides, des progrès spectaculaires ont été réalisés par l'utilisation d'appareils à multiples effets, ou avec la thermo-compression des buées, qui permet en outre de diminuer, voire de supprimer les rejets aux égouts. Cette approche connue et testée depuis plus de vingt ans n'est malheureusement presque pas appliquée, car elle nécessite des investissements.

Une autre utilisation rationnelle consiste à détendre la vapeur par une turbine pour la

production d'électricité, et d'utiliser la vapeur à plus basse température (déchet de la turbine qui est normalement rejeté dans les rivières ou dans l'air par l'intermédiaire des tours de refroidissement) pour les évaporateurs à multiples effets. Si cette méthode nécessite un investissement important, elle est très intéressante en bilan énergétique. La généralisation de ces procédés permettrait une production optimale avec un minimum d'énergie.

(figure 1)

#### *Séchage par pulvérisation (spray)*

Cette technologie de séchage est l'une des plus intéressante quant à ses capacités et à ses qualités organoleptiques et nutritionnelles. Elle est énergivore, mais comme ce coût ne représente qu'une faible part du prix de revient, personne n'est intéressé à en améliorer les performances. Ces possibilités existent, mais elles ne sont pas appliquées.

Une installation évaporant deux tonnes d'eau par heure rejette en réalité deux tonnes de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Il n'est pas inutile de rappeler que ces deux tonnes représentent une énergie thermique de 1500 kWh. Pour une ligne de production, cela représente une perte annuelle de 7500 MWh, pour produire votre café soluble, votre poudre de lait, etc.

(figure 2)

Le rejet de la vapeur dans l'atmosphère, en plus des rejets de fumées du réchauffeur d'air, provoque d'une part un réchauffement inutile de notre environnement et d'autre part entraîne des résidus de poudre en quantités non négligeables. La récupération partielle de cette énergie, par condensation des vapeurs, permet du même coup de récupérer les pertes du produit, de ménager l'environnement et d'économiser de l'énergie. Sans une législation dissuasive pour la sauvegarde de notre environnement, rien ne bougera. Il y a là un problème politique à résoudre. Les rares petites améliorations parfois publiées ne sont que de la poudre aux yeux, pour démontrer que l'industrie sait se prendre en mains sans les menaces de l'État.

#### *Récupération d'énergie d'une tour de séchage spray*

L'air d'échappement d'une tour de séchage, chargé d'humidité sous forme de vapeur d'eau est rejeté dans l'atmosphère à une température voisine de 100 °C. Cet air dit « humide » a une humidité relative ( $a_w$ ) très basse du fait de sa température élevée. Il a donc encore un pouvoir d'évaporation important. En utilisant cet air chaud et humide pour la concentration par injection directe sur le liquide à sécher, on peut encore lui retirer une tonne d'eau, ce qui amène l'air sortant à saturation, ou à son point de rosée. Au point de rosée, toutes les particules de poudre en suspension sont récupérées. L'air saturé, à une température voisine de 50 °C, contenant les trois tonnes de vapeur, peut être partiellement condensé, avec un rendement maximum dans une pompe à chaleur.