

# Quelles sources d'avenir pour les protéines alimentaires ?

Danièle Olivier

*Verena Poinsot est directrice de recherche CNRS au Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux (CIRIMAT).*

## Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'examiner les sources complémentaires et alternatives à la viande permettant de répondre à notre besoin en protéines alimentaires. La **figure 1, en haut** résume le contexte du besoin en protéines. Intéressons-nous aux 17 % de protéines que nous avons dans le corps humain et aux 9 acides aminés essentiels<sup>1</sup> qui ne sont disponibles que par

la nourriture (voir le chapitre de Jean-Michel Lecerf).

Un premier point à noter est qu'il est nécessaire de compenser les protéines qui se dégradent dans notre corps (0,8 g de protéines par kilo par personne et par jour), au moyen de notre alimentation. Mais il faut signaler que nous ne sommes pas loin d'en consommer le double en France. Pourtant, nous ne sommes pas des goinfres mangeant des quantités hallucinantes de nourriture, mais nous avons une alimentation déséquilibrée, alors que l'on dit habituellement que les

1. Acides aminés essentiels : acides aminés que notre corps ne peut pas fabriquer. On doit les obtenir par l'alimentation.

Français ont une culture gastronomique tout à fait intéressante.

Il faut aussi garder à l'esprit que l'alimentation représente 25 % (*Figure 1, en bas*) des émissions

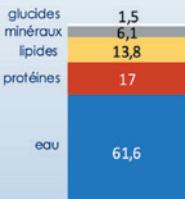
de gaz à effet de serre<sup>2</sup> produits

2. Gaz à effet de serre (GES) : gaz qui retiennent la chaleur dans l'atmosphère, contribuant au réchauffement climatique (ex. : CO<sub>2</sub>, méthane).

## Contexte



### Composition (%)



Environ 12 kg, 300 g renouvelés chaque jour

- Enchainements de 20 acides aminés :
- 11 produits par le corps
- 9 issus de l'alimentation (aa essentiels)

Recommandation :  
0,8 g protéines/kg/jour

Réalité en France : 1,4 g/kg/j

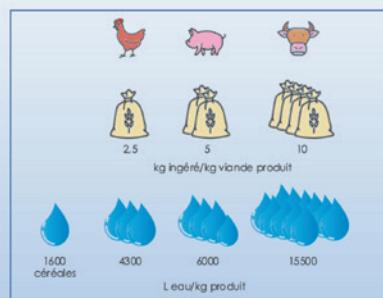
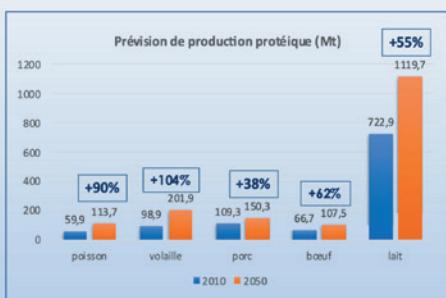
Réalité française



⇒ Rééquilibrer notre bol alimentaire

<https://www.fao.org/4/w0073l/w0073l09.htm>

## Soutenabilité du modèle actuel : ressources



Source : FAO Global Food Outlook November 2012 / FAO World Agriculture towards 2030/2050

### Modèle alimentaire actuel :

- Alimentation = 25% GES
- Agriculture = 15% GES (dont 12 pour l'élevage)
  - > industrie
- 4t eau/an/européen
- 50% des antibiotiques

⇒ Développer les alternatives viables à cet accroissement de la production carnée.

Figure 1

Le contexte du besoin en protéines. Panel du haut : le besoin en protéines. Panel du bas : l'impact environnemental et sanitaire des élevages au regard de la croissance projetée du besoin.

par l'humanité, et que, sur ces 25 %, 14,5 % proviennent de l'élevage.

Autre point à savoir (**Figure 1, en bas**) : il y aura un accroissement de la consommation de viande (ou du moins de protéines), lié à l'augmentation de la population mondiale, mais aussi lié à une augmentation du pouvoir d'achat des pays qui sont à forte croissance actuellement, et qui ont pour standard notre mode de vie occidental. Il va donc falloir développer une alternative viable pour assumer cette nouvelle croissance.

## 1 Les sources de protéines alternatives

Quelles sont les sources de protéines alternatives ?

Le chapitre de Romain Joly montre que les **plantes légumineuses**, les protéagineuses<sup>3</sup>, sont une source de protéines particulièrement importante.

Les **microalgues** sont une autre source : ce sont les zones de couleur verte et troubles que l'on retrouve à la surface de l'eau. Très petites, elles ne se voient pas à l'œil nu. Deux espèces en particulier sont déjà validées pour l'alimentation, à savoir *la spiruline* et *la chlorelle*.

Du côté des **insectes**, nous verrons deux espèces comme exemples : *le ver de farine* et *le grillon domestique*.

Côté **champignons filamentueux**, nous verrons l'exemple de *Fusarium Venenatum*.

Enfin, nous examinerons assez rapidement le cas des **levures**.

3. Plante protéagineuse : plante cultivée principalement pour ses graines riches en protéines (ex. : pois, fèves, soja).

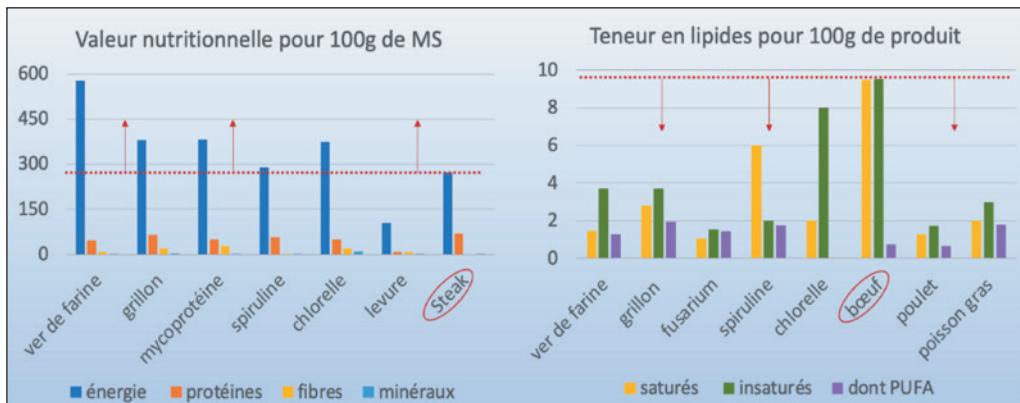
Pour utiliser une source de protéines comme aliment alternatif, il faut savoir si elle a réellement une valeur nutritive équivalente à la viande. La première chose est donc de considérer les valeurs nutritives pour 100 g de matière sèche<sup>4</sup>, pour mieux pouvoir comparer ces organismes très différents (**Figure 2**). Il apparaît clairement que, pour 100 g de matière sèche, tous ces nouveaux produits pour l'alimentation (la barre a été placée au niveau du steak) sont plus énergétiques que la viande rouge. Et si on regarde les barres orange, ces produits ont une production en protéines équivalente à la viande.

Un autre point qu'il est très intéressant de regarder est la teneur en lipides<sup>5</sup>, puisque ce sont des aliments qui sont beaucoup plus maigres que la viande. Les acides gras polyinsaturés dont nous avons besoin sont présents dans ces entités, surtout en ce qui concerne les insectes ; ils sont aussi présents dans la spiruline, en particulier, ou dans les champignons filamentueux. Si les protéines issues des microalgues ne couvrent pas la totalité du spectre en acides aminés essentiels, on peut retrouver une distribution complète en combinant les sources.

**Les insectes, en tant qu'animaux, présentent la totalité du spectre des acides aminés dont nous avons besoin pour nous développer.**

4. Masse sèche : masse qui reste après avoir retiré toute l'eau que contient un produit.

5. Lipides : matières grasses présentes dans les aliments et le corps, essentielles en quantité raisonnée.

**Figure 2**

Valeur nutritive des sources de protéines.

Il est aussi important de noter que la spiruline a un apport en fer assimilable (c'est important car ce n'est pas parce qu'il y a du fer qu'il est assimilable pour nous), qui est très supérieur à la viande rouge. Il existe donc une alternative, y compris pour nos besoins en fer.

## 2 La production industrielle de ces nouveaux aliments

Savoir que ces nouveaux aliments sont potentiellement de bons aliments ne suffit pas : il

faut être capable de produire suffisamment de matière alimentaire à partir de ces sources alternatives pour couvrir le besoin. Examinons donc leurs modes de production.

Les insectes sont des animaux, on utilise donc une procédure d'élevage. L'intérêt pour les insectes est qu'il y a une très faible emprise au sol<sup>6</sup>, puisqu'on les élève dans de grandes structures en verticalité, comme vous pouvez le voir sur la **figure 3** qui présente des empilements de centaines de box contenant chacun des milliers d'individus.

Cela permet donc de produire énormément de matière sur très peu de surface au sol. Toutefois, les enceintes doivent être maintenues autour de 30 degrés.

En ce qui concerne les micro-algues et les champignons

**Figure 3**

Élevage d'insectes industriels en empilements de boîtes : à gauche, chez Ynsect ; à droite, chez Micronutris.

6. Emprise au sol : surface de terrain occupée par une construction ou une activité.

filamenteux, on utilise des systèmes liquides (**Figure 4**). La façon la plus empirique<sup>7</sup> (mais pas forcément la plus *ad hoc*<sup>8</sup> pour le contrôle sanitaire) est de les cultiver en bassins ouverts. Mais ce qui se développe le plus, ce sont les serres aquacoles<sup>9</sup>.

C'est une production en présence de lumière et d'eau, que l'on peut aussi remplacer dans les systèmes qui sont prévus pour les levures, à savoir les grands fermenteurs industriels<sup>10</sup>.

#### Qu'en est-il du stade de développement industriel concernant ces aliments alternatifs ?

7. Empirique : basé sur l'expérience directe, sans passer par une théorie scientifique rigoureuse.

8. *Ad hoc* : expression latine signifiant « spécialement conçu pour un usage précis ».

9. Serres aquacoles : grandes structures fermées, souvent en verre ou en plastique, où l'on cultive dans l'eau des organismes comme les microalgues ou des poissons.

10. Fermenteur industriel : machine permettant la culture de micro-organismes (levures, bactéries) à grande échelle dans de grandes cuves chauffées et fermées.

Pour les insectes, on compte déjà en Europe une bonne dizaine de très grandes installations qui permettent l'élevage des insectes, dont trois sont en cours d'installation en France (Ynsect, Innovafeed et Agronutris), l'une étant validée pour l'alimentation humaine.

En ce qui concerne les microalgues, il y a de très nombreuses fermes aquacoles dans le monde, principalement implantées aux États-Unis, en Afrique, en Europe et au Japon. En France, nous disposons de trois grands groupes : l'un produit ses microalgues en tant que fertilisant et nourriture destinée aux animaux (Algae), les deux autres élaborent des compléments alimentaires (AlgoSource et Greensea).

La production de protéines par les champignons filamenteux n'est pas réellement présente en France, mais il y a de très grands groupes ailleurs. Ainsi, le groupe Quorn présente une spécificité puisqu'il produit la chaîne complète de valeur : il démarre par le fermenteur et vous livre un plat cuisiné en sortie. Il y a deux autres grands groupes, Enough et MAASH, qui produisent chacun 10 000 tonnes



Figure 4

Modes de production des algues : serres aquacoles, bassins ouverts et photofermenteurs.

de mycoprotéines<sup>11</sup> par an. En France se développe une petite start-up très prometteuse : Myctechs. Elle mise sur le fait qu'il n'est pas forcément nécessaire de s'intéresser à la seule protéine : en s'intéressant à tout le réseau filamentueux des champignons, on pourrait obtenir des produits finis avec une texture qui pourrait s'approcher de la viande. Quant aux levures, elles ont toujours existé dans l'agroalimentaire : elles sont utilisées en brasserie, dans les produits laitiers, en boulangerie. Lesaffre est l'un des géants français du domaine.

La chimie va continuer à être là pour tout ce qu'elle fait déjà pour l'agroalimentaire, c'est-à-dire pour le traitement sanitaire dans les élevages, pour tout ce qui a trait au nettoyage, aux conditions de culture, au suivi qualité, à la conservation, à la transformation, à l'amélioration organoleptique<sup>12</sup>...

### 3 Avantages et limites de ces nouveaux aliments

#### 3.1. Les insectes

Commençons par les insectes, parce qu'ils présentent un très grand nombre d'avantages.

Ils ont un taux de conversion entre la nourriture qu'on leur donne et leur valeur nutritive bien supérieur à celui des animaux d'élevage. Ils ont un

11. Mycoprotéine : protéine purifiée à partir du champignon.

12. Organoleptique : qui concerne les qualités perçues par les sens (goût, odeur, texture, couleur).

impact environnemental qui est certes supérieur au végétal, à l'agriculture standard, mais bien inférieur à celui de l'élevage de bovins (ou d'ovins). La capacité de production est énorme avec une faible emprise au sol, et les insectes couvrent la totalité de nos besoins en acides aminés, en graisses...

Mais leurs limites sont également majeures. La première d'entre elles est l'absence absolue d'appétence des Occidentaux pour ce genre d'aliments, alors que, il faut en avoir conscience, 2 milliards et demi d'êtres humains en consomment déjà de façon périodique. Le marché actuel pour la consommation humaine est faible : à ce niveau, les humains représentent 5 % du marché, le reste étant destiné à l'aquaculture. Certains pays comme la Finlande ont déjà décidé de les introduire pour partie dans la farine de pain. Ces insectes n'étant pas consommés de façon usuelle en Europe, ils sont sous le sceau de la réglementation « Novel Food » qui est extrêmement contraignante, ce qui représente également une limite à leur développement.

#### 3.2. Les microalgues et les champignons

Concernant les microalgues, l'acceptabilité par le consommateur est meilleure. Ce sont des aliments extrêmement diététiques, car à faible teneur en matières grasses, ils contiennent les lipides essentiels et les protéines en quantité suffisante. De plus, leur culture demande très peu de technicité de production.

Néanmoins, ils posent des problèmes organoleptiques : en général, ils ont une vilaine couleur pour nos yeux et une texture qui n'est pas sympathique pour nos papilles. Leur goût est fort également. Ils posent aussi des **problèmes de digestibilité**, car ils possèdent une certaine proportion de polysaccharides<sup>13</sup> et de chitines<sup>14</sup> qui engendrent des problèmes de transit.

Comme pour les insectes, on a aussi très peu de recul, sur l'impact sanitaire, de leur utilisation récurrente, quotidienne, dans l'alimentation. Certaines **allergies massives** ont déjà été signalées, en particulier pour la **microalgue spiruline**, car elle a des allergènes qui sont très proches de ceux des crustacés qui déclenchent, de façon usuelle, de fortes allergies.

Bien que nous consommions de façon habituelle la partie aérienne des champignons, le sporophore, nous n'avons pas pour usage de manger les filaments qui se trouvent dans le sol. Leur consommation est donc également sous contrôle de la réglementation « Novel Food ».

### 3.3. Les levures

Les levures, vous l'avez vu sur les diagrammes que j'ai présentés au départ, ne présentent pas un grand intérêt

nutritionnel, mais elles sont utilisées historiquement à des fins de conservation et de génération de goût, même si leur texture est désagréable. Étant donné qu'elles ne sont cultivées que dans des fermenteurs, elles ont aussi un impact environnemental important.

Si je vous parle des levures, c'est parce qu'il y a un process spécifique (qui s'appelle la « fermentation de précision »), qui est obtenu à partir d'une levure en particulier, *Pichia Pastoris*, dont le génome est parfaitement connu et maîtrisé. Cela permet de construire des OGM<sup>15</sup>, qui sont capables de synthétiser de manière importante et très propre certaines protéines ayant une forte valeur ajoutée. Ces levures présentent un intérêt soit pour l'industrie agroalimentaire, en additifs alimentaires, soit à des fins de santé, pour donner des éléments qui sont importants, qui peuvent se formuler sous forme d'alicaments<sup>16</sup> ou simplement de formulation médicamenteuse. Cependant, leur coût de production est extrêmement élevé, car leur coût de développement est énorme pour très peu de volume produit. Ce principe de production n'est donc pas compatible avec une alimentation planétaire.

13. Polysaccharides : grosses molécules formées de plusieurs sucres (glucides) liés entre eux.  
14. Chitine : substance dure présente dans les carapaces d'insectes et à la surface des champignons, difficile à digérer pour l'humain.

15. OGM : organisme génétiquement modifié, dont l'ADN a été modifié pour lui donner des caractéristiques nouvelles.

16. Alicament : aliment qui apporte un bénéfice pour la santé, en plus de nourrir.

## Conclusion

- Les protéines végétales sont, dans l'immédiat, les alternatives à la viande les plus adaptées. Leur acceptabilité est forte, mais elles présentent un problème de saveur, de texture, de rendement de culture. De plus, les terres arables se dégradent, sont peu extensibles, certaines pratiques agricoles sont à améliorer (labour, engrais, produits phytosanitaires...), et un risque climatique pèse sur la production.
- Les insectes présentent un apport nutritif proche de celui de la viande, une forte capacité de production, un faible besoin en surfaces, mais ils souffrent de leur image, de leur goût et de l'impact de leur production (eau, énergie). Ils sont parfois riches en chitine et nous avons peu de recul sur leurs impacts.
- Les microalgues et mycoprotéines sont riches et acceptables par le consommateur, mais posent un problème de couleur, de digestibilité, de coût à l'investissement et de paysage (multiplication d'usines). Là encore, nous avons peu de recul sur leurs impacts.

L'idée n'est en aucun cas de remplacer en totalité la viande, mais de venir compléter l'offre face à la demande en protéines. Une seule source protéique «nouvelle» n'est sans doute pas la solution complémentaire évidente. Nous sommes des omnivores, il ne sert à rien que nous devenions tous végétariens, et cela n'aurait pas vraiment de sens pour notre métabolisme. Mais notre consommation actuelle et surtout à venir de viande est telle qu'il faut lui trouver un substitut, au moins partiel.

Terminons par les recommandations qui sont nécessaires pour une alimentation durable.

Il faut éduquer les populations. Ne pas dépasser nos besoins nutritionnels est un point important pour l'alimentation mondiale, parce que, même si cela a trait à la géopolitique et au climat, il faut garder à l'esprit qu'une personne sur onze dans le monde souffre de la faim, alors qu'une personne sur trois est en surpoids ou obèse.

L'autre point, c'est qu'il faut accroître notre part de végétaux protéagineux qui contribuent en plus à enrichir naturellement les sols.

L'équilibre dans notre assiette française n'est pas idéal : il nous faut limiter les éléments transformés (trop de sel, sucres et graisses), accroître la part des céréales et fruits secs et, bien sûr, limiter le gaspillage alimentaire.

Il faut enfin s'ouvrir à de nouvelles sources alimentaires. Le problème est que cela requiert du changement et que le changement effraie.

**Il faut un engagement politique pour accompagner le changement :** intégrer les impacts sur l'ensemble des filières, promouvoir l'agroécologie, promouvoir les alimentations alternatives, encadrer l'industrie agroalimentaire, obtenir l'adhésion et la collaboration des milieux agricoles.

Je remercie le comité de prévention et de précaution du ministère de l'Écologie, qui m'a fait confiance pour présenter les résultats figurant dans un rapport qui est disponible en ligne<sup>17</sup>.

---

17. Rapport du CCP «Quelle alimentation humaine pour demain ? Les nouveaux aliments : cas des insectes et des microalgues».  
[https://cpp.alerte-sante-environnement-deontologie.fr/IMG/pdf/cpp\\_2024\\_-\\_quelle\\_alimentation\\_humaine\\_pour\\_demain.pdf](https://cpp.alerte-sante-environnement-deontologie.fr/IMG/pdf/cpp_2024_-_quelle_alimentation_humaine_pour_demain.pdf)