

## Aliments synthétiques : De quoi parle-t-on ?

Le marché des alternatives aux protéines des produits alimentaires animaux traditionnels a connu une croissance significative à l'échelle mondiale au cours de la dernière décennie, et les projections du marché (Fortune Business insights) prévoient que son chiffre d'affaires atteindra environ 12,3 milliards d'euros d'ici 2029, contre 11,1 milliards d'euros actuellement (Pitchbook).

Ce marché peut être divisé en deux grands courants de produits : les **alternatives végétales** et les **alternatives cultivées en laboratoire**. Les premiers consistent en des galettes végétales ultra-transformées dont le but est de ressembler (par la couleur, la forme, le goût, la texture, l'odeur, la jutosité, l'effet de la cuisson, etc.) à des produits d'origine animale (principalement des produits laitiers ou de la viande) ; les seconds sont des cellules animales prélevées sur un animal vivant et amenées artificiellement à se reproduire (se répliquer) dans un bioréacteur. Le résultat de l'imitation de viande cultivée en laboratoire est une multitude de cellules musculaires identiques qui doivent être transformées en galettes ou en pépites pour être consommées, étant donné que la technologie actuelle ne permet pas de créer artificiellement des morceaux de viande entiers.

Les végétariens, les végétaliens et les flexitariens constituent le principal segment de marché visé par les produits à base de protéines végétales, tandis que les mangeurs de viande ayant des "préoccupations sanitaires et environnementales" et ne souhaitant pas renoncer à la viande dans leur régime alimentaire constituent le groupe visé par les produits synthétiques cultivés en laboratoire, ainsi qu'un sous-groupe de végétaliens qui évitent la viande pour des raisons éthiques.

### Viande synthétique

La « viande synthétique », la « viande cultivée en laboratoire » ou l'« agriculture cellulaire » est le processus de production d'aliments et d'autres produits d'origine animale directement à partir de cellules animales, en laboratoire. Grâce à un échantillon de cellules animales prélevées soit sur des muscles d'animaux vivants, soit sur des embryons, et placées dans un milieu riche en nutriments, le tissu cellulaire est cultivé dans des conditions contrôlées dans des bioréacteurs pour se développer en cellules de muscles, de graisse ou d'autres tissus afin de former des conglomerats de cellules animales et d'autres produits animaux (comme le cuir, la gélatine, le collagène) (Warner, 2019).

Le milieu dans lequel les cellules sont cultivées est synthétisé à partir de sérum fœtal bovin, même si actuellement, de nombreuses entreprises tentent de développer des sérums d'options sans animaux pour des raisons de coûts et d'éthique.

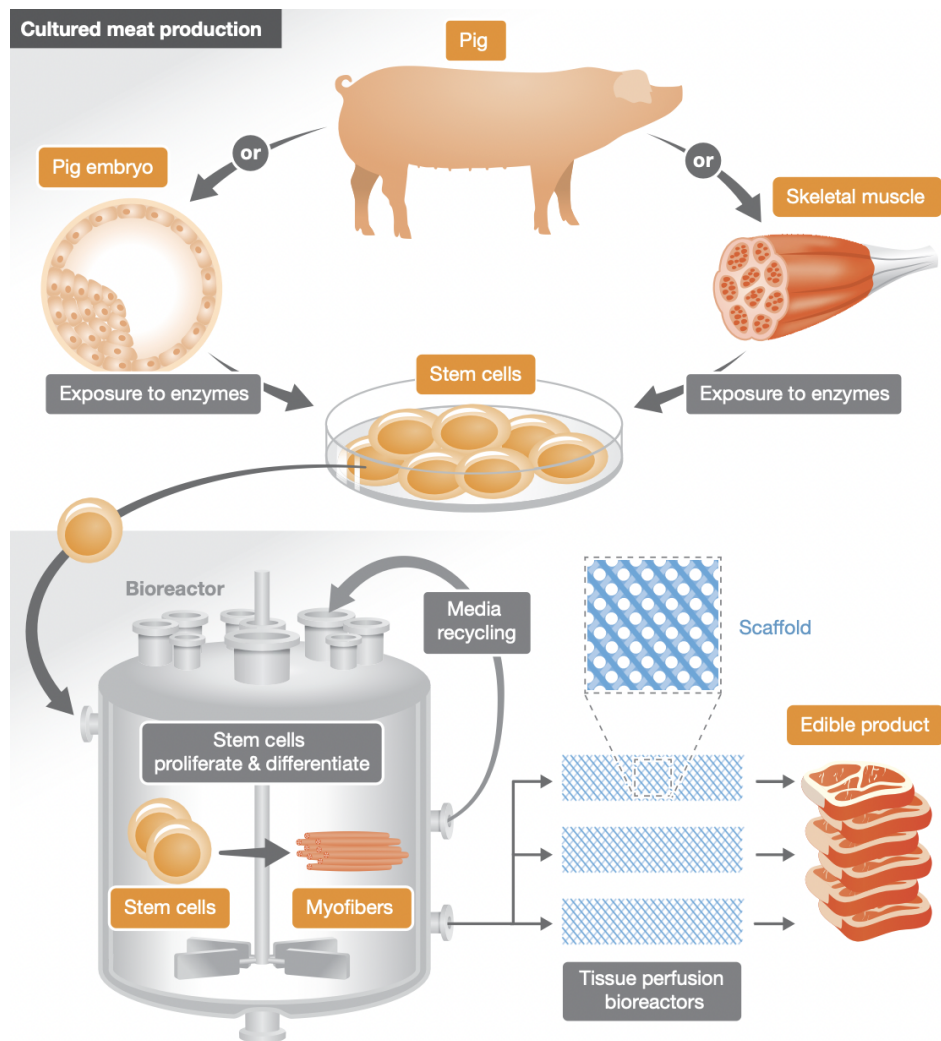


Figure 1 : Production de viande synthétique. Source : [Science & Société](#)

Warner (2019) entre dans le détail des étapes de production, décrivant la biologie du processus.

Tout d'abord, il faut décider de la **source de l'échantillon de cellules** : soit des cellules souches provenant d'un embryon, soit un muscle d'un animal vivant. Une *cellule souche* a la capacité unique de se développer en de nombreux types différents de cellules du corps, et toutes les cellules souches peuvent s'auto-renouveler (faire des copies d'elles-mêmes par division) et se différencier (se développer en cellules plus spécialisées). Ces cellules souches sont dites "pluripotentes". Au fur et à mesure qu'un organisme vieillit, le potentiel de régénération des cellules diminue rapidement, et les cellules souches que l'on trouve chez des individus plus âgés ne peuvent reproduire que le tissu dont elles ont été prélevées. Ce type de cellule souche est dit "unipotent". Ainsi, les embryons contiennent des cellules souches qui ont les caractéristiques de se répliquer un nombre infini de fois - dans des conditions contrôlées - et de se développer en différents types de cellules corporelles (pluripotentes). Les cellules souches prélevées sur des *tissus d'un sujet adulte* (appelées cellules souches adultes) ont un potentiel de réplication limité (50 à 60 fois) et ne peuvent répliquer que le tissu dont elles ont été exportées (unipotentes). Une troisième catégorie d'échantillons de cellules, rappelle Warner, est appelée "*cellules souches pluripotentes induites*", qui sont artificiellement modifiées in vitro pour reproduire les cellules souches embryonnaires, ce qui signifie que la

cellule souche adulte unipotente a été artificiellement forcée à devenir pluripotente. Enfin, un échantillon peut être obtenu à partir du tissu musculaire d'un sujet vivant pour obtenir des "*cellules souches myosatellites*", qui ne peuvent se différencier qu'en cellules musculaires et se répliquer que 20 fois au maximum. Pour cette raison, les cellules embryonnaires souches sont normalement préférées pour la production d'imitation de viande à base de cellules (Warner 2019).

Le **milieu de croissance** est un sérum riche en nutriments qui reproduit les conditions biochimiques de l'environnement dans lequel les cellules se développent normalement dans le corps de l'animal. Il est composé d'eau, d'oxygène, de glucides, de lipides, d'acides aminés, de vitamines, de minéraux et d'autres substances biochimiques. Des facteurs de régulation myogéniques appropriés et différentes hormones (insuline, hormone thyroïdienne, hormone de croissance) doivent être ajoutés à différents stades de la croissance (Warner 2019, Datar et Betti, 2009). De toute évidence, le sérum de croissance doit être adapté en fonction du type de cellules animales cultivées (par exemple, les cellules bovines nécessitent une recette de croissance différente de celle des cellules de volaille). En outre, il peut être nécessaire de modifier la formulation du sérum au cours du processus de culture (Datar et Betti, 2009). En raison de son efficacité, le milieu de culture idéal pour la prolifération et la croissance des cellules est le sérum de veau fœtal bovin.

L'étape suivante de la production d'imitation synthétique de viande est l'**échafaudage**, le processus par lequel l'échantillon de cellules de départ est placé dans un bioréacteur avec le sérum de croissance et commence la croissance proprement dite. Au cours de cette phase, les cellules prolifèrent, se différencient, arrivent à maturité et, finalement, fonctionnent comme des cellules musculaires squelettiques. Pour ce faire, les cellules souches doivent être fixées à un échafaudage biologique qui servira de base à leur croissance. Cet échafaudage peut être constitué de collagène. Dans cette phase, il est nécessaire de stimuler biomécaniquement les cellules satellites afin de leur permettre de se transformer en cellules précurseurs du muscle (appelées myoblastes) ; en outre, un stimulus électrique sera également nécessaire pour créer l'activité neuronale requise pour le développement des cellules musculaires matures.

Enfin, la "**récolte**" des cellules musculaires et la **fabrication** du produit final concluent le processus de production. Les offres actuelles ne peuvent être utilisées que pour les produits carnés transformés (comme les hamburgers ou les nuggets), car le produit cultivé n'a pas la même structure que le véritable tissu musculaire squelettique.

Il convient de signaler que "la production d'un muscle entier, avec son approvisionnement en sang, ses cellules de tissu conjonctif, sa cellule musculaire et sa structure associée, n'a été réalisée ni en biologie et en médecine humaines ni dans la production cellulaire d'imitation de viande. (...) La production cellulaire d'un steak entier est technologiquement beaucoup plus complexe et nécessite des percées technologiques pour assurer une alimentation vasculaire à travers une épaisse couche de tissu musculaire, ainsi que pour déterminer le bon milieu de croissance pour la coculture de cellules musculaires, graisseuses, de tissu conjonctif et endothéliales " (Warner, 2019). De plus, Warner (2019) souligne que la saveur du flash de viande naturel est dérivée de plus de 750 composants. Sa texture, sa sensation en bouche et sa tendreté découlent de plusieurs conditions biochimiques spécifiques (se produisant au stade *post-mortem*) qui, finalement, font de la viande ce qu'elle est, se demandant si l'imitateur synthétique parviendra jamais à reproduire la complexité du modèle naturel : "Ainsi, la fabrication d'un produit à partir de cellules musculaires pures, comme la viande cellulaire, aura une texture et une sensation en bouche différentes de celles d'un produit fabriqué à partir

de muscles provenant de la carcasse post-mortem d'un animal vivant". En fait, "les muscles sont transformés en viande par un processus biochimique complexe" qui se produit dans les muscles après la mort, et qui détermine également le goût et la texture de la viande (Fraeye et al, 2020).

Malgré les millions de ressources financières collectées, l'industrie fait état de certains goulets d'étranglement dans son développement, notamment en raison des coûts élevés de production, de recherche et de développement. En effet :

- **Le développement de la lignée cellulaire** - le bloc de financement de l'activité de culture en laboratoire, à savoir la séquence génétique réelle à partir de laquelle la réplication cellulaire commence - est une activité qui prend beaucoup de temps, qui nécessite des connaissances spécifiques et dont beaucoup sont protégées par des droits de propriété intellectuelle, ce qui en rend l'accès difficile.
- **Les milieux de croissance** représentent l'actif le plus coûteux de la chaîne de production, notamment en raison de l'utilisation du composant de sérum bovin fœtal - qui provient d'embryons de bovins et auquel, pour l'instant, il n'existe aucun substitut réel - qui atteint plus de 2 000 € par litre, représentant, en moyenne, 95 % des coûts de production.
- **Les échafaudages** nécessitent de grandes surfaces d'espace pour fonctionner au mieux, permettant aux cellules d'accéder aux nutriments. Les outils d'échafaudage actuels limitent le potentiel de mise à l'échelle pour l'industrie.
- Les **bioprocédés** sont actuellement réalisés en petits lots et sont très gourmands en énergie, ce qui limite la mise à l'échelle des processus en termes de coûts énergétiques et d'efficacité de la production.

Les autres défis auxquels l'industrie de la viande cultivée en laboratoire est confrontée concernent les produits eux-mêmes, en ce sens que la technologie actuelle permet de cultiver les cellules une par une et qu'elles ont constamment besoin d'un accès aux nutriments et à l'oxygène, raison pour laquelle elles sont cultivées en bandes, ce qui limite une grande partie de leur utilisation après la production. En raison de ces obstacles, le muscle et la graisse que l'on trouve naturellement dans un steak doivent être cultivés séparément et empêchent la création de morceaux autres d'une imitation de bœuf haché utilisable pour les galettes. L'impression 3D est une solution explorée qui pourrait être utilisée pour résoudre une partie de ce problème.

## **Fermentation de précision**

**La fermentation de précision** est une industrie parallèle qui se développe dans le secteur de la nourriture alternative en tant que technique permettant de reproduire le lait et les produits laitiers en laboratoire également. Le processus de fermentation de précision implique l'utilisation de certains organismes comme "base", tels que des bactéries, des levures ou des algues (microflore), qui interagissent dans un sérum de milieu riche en nutriments pour créer un résultat comestible, tel que des protéines de lait, des graisses animales et végétales, du

collagène, du miel, du blanc d'œuf, des enzymes, des agents aromatiques, des vitamines et des pigments naturels. Pour ce faire, la base de matière vivante est souvent composée de micro-organismes génétiquement modifiés auxquels ont été insérés la séquence d'ADN de la protéine de lactosérum ou de la caséine et cultivés dans des cuves de fermentation.

Les organismes (la microflore, c'est-à-dire les levures, les bactéries ou les algues) sont programmés par modification génétique pour leur permettre d'excréter une matière vendable particulière, généralement des graisses ou des protéines comestibles biologiquement similaires à des produits animaux qui peuvent être transformés pour créer un produit d'apparence animale. En particulier, **l'industrie de la fermentation de précision utilise la séquence d'ADN de la protéine du petit-lait (la protéine que l'on trouve dans le lait) pour l'insérer dans la séquence génétique de la microflore en utilisant ensuite des organismes génétiquement modifiés (OGM) pour produire du lactosérum.**

Une fois ce processus effectué, la microflore qui a incorporé le gène codant pour la protéine de lactosérum est encouragée à se développer et à se reproduire dans un sérum riche en nutriments. En conséquence, par fermentation, la flore transforme le sucre en lactosérum. La protéine est ensuite séparée de la microflore, purifiée et séchée. Le produit final est une poudre de protéines qui peut être utilisée par les fabricants de produits alimentaires pour reproduire le lait et les produits laitiers.

La plupart des jeunes entreprises de ce secteur utilisent des microflores issues des six règnes biologiques, ciblées pour un résultat spécifique (graisses, protéines, glucides, etc.).

### **Remarques :**

Grâce à ces procédés, l'offre actuelle de l'industrie des aliments synthétiques comprend plusieurs produits qui sont proposés en remplacement des aliments traditionnels d'origine animale, tant dans l'industrie alimentaire que dans les secteurs de la mode et de la beauté. En effet, outre la viande et les produits laitiers, plusieurs autres produits d'origine animale sont visés par l'industrie synthétique (culture cellulaire ou fermentation). Entre autres les **fruits de mer** (Schiok meats, Blue Nalu, Bluu Seafood, Fisheroo, Umami meats, Blue Fin Foods) ; le **blanc d'œuf** (Onego) ; le **foie gras** (Gourmey, Foieture) ; les **huiles** (Zerocare) ; le **lait maternel** (Biomolq, Wilk, Me&Ma) ; le **cuir** (Bolt Threads, Vitro Labs inc, Modern Meadow) ; la **gélatine** et le **collagène** (Jellatech, Geltor) ; le **chocolat** (California cultured), le **café**<sup>1</sup> (Stem) ; les **aliments pour animaux** (bond tech food, Because Animals, Wild Earth, Pristine Pet foods), le **caviar** (Caviar Biotec), les **ingrédients pour les soins de la peau** (IntergiCulture, Avant Meats), la **fourrure** (Geneus Biotech).

Enfin, Ketelings et al (2021) indiquent qu'ils ne sont pas les seuls à affirmer que des recherches supplémentaires sont nécessaires afin d'améliorer certains aspects de cette technologie, notamment en ce qui concerne l'évaluation des risques, les dangers et les risques, et la perception de la sécurité (figure 2).

---

<sup>1</sup> Pour le café comme pour le chocolat, la technologie utilisée est la même que celle utilisée pour la culture de la viande : en prélevant un échantillon d'ADN de café/cacao, les cellules sont ensuite cultivées dans des bioréacteurs dans un milieu riche en nutriments pour délivrer du café/cacao (sous forme de poudre) qui sera utilisé par les fabricants et les transformateurs de produits alimentaires comme ingrédients du produit final.

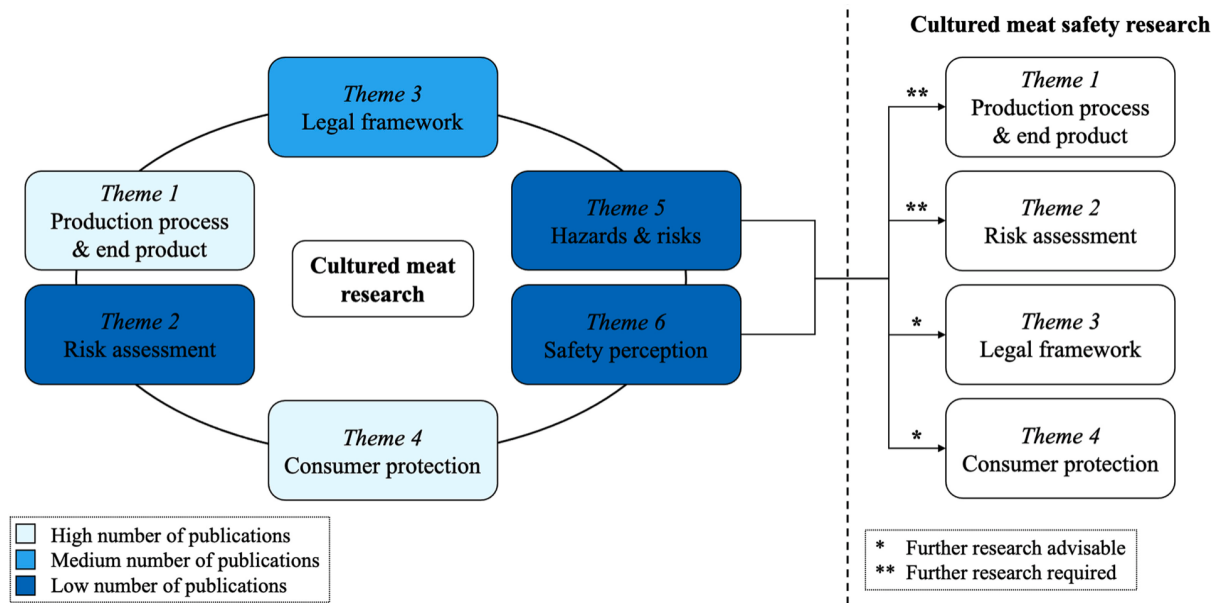


Figure 2 : Publications scientifiques dans les domaines de la production de protéines synthétiques. Source : Ketelings et al. (2021)

### Sources :

- Datar, Betti, "Possibilités d'un système de production d'aliments in vitro". *Innovative Food Science and emerging technologies*, Vol 11, 13-22, 2010. [https://files.givewell.org/files/labs/animal-product-replacements/Datar\\_and\\_Betti\\_2010.pdf](https://files.givewell.org/files/labs/animal-product-replacements/Datar_and_Betti_2010.pdf)
- Données de Fortune Business Insight, trouvées dans le Washington Post. Marina Lopes, "En Asie, les substituts de viande font mordre les investisseurs". 2022.
- Fraeye, Kratka, Vandeburgh, Thorrez, "Sensorial and Nutritional aspects of cultured meat in comparison to traditional meat : much to be inferred". *Frontiers in nutrition*, 2020. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00035>
- Ketelings, Kremers, de Boer, "The barriers and drivers of a safe market introduction of cultured meat : A qualitative study", *Food Control*, Volume 130, 2021, 108299, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108299>.
- Pitchbook
- Warner, "Review : Analyse du processus et des moteurs de la production de viande cellulaire. *Animal*, 13(12), 3041-3058, 2019. [doi:10.1017/S1751731119001897](https://doi.org/10.1017/S1751731119001897)