

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—

SESSION 2020

—

BIOTECHNOLOGIES

(Classes de terminale STL)

EPREUVE D'ADMISSIBILITE

Durée : 5 heures

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire « type collège » est autorisé.*

L'usage du dictionnaire « anglais-français » est autorisé.

Les différentes parties du sujet peuvent être traitées de manière indépendante.

Consignes aux candidats

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Numéroté chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours :

Concours / Examen : CGL

Epreuve : 101

Matière : BIOT

Session : 2020

Nourrir l'humanité, un enjeu majeur du 21^{ème} siècle

Selon le dernier rapport publié par l'ONU (juin 2019), la population mondiale devrait atteindre 9,7 milliards d'individus en 2050 alors qu'elle est de 7,7 milliards actuellement.

Subvenir à l'ensemble des besoins alimentaires de l'humanité constitue un défi auquel nous avons d'ores et déjà du mal à répondre. En effet, d'après les estimations de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) pour l'année 2017, 821 millions de personnes dans le monde souffrent de malnutrition, soit une personne sur neuf environ.

L'augmentation de la production des denrées alimentaires, à l'échelle mondiale, nécessaire pour améliorer l'alimentation des populations a déjà un impact environnemental important. Différents aspects du développement durable sont concernés :

- La gestion des ressources en eau (accès à l'eau potable) ;
- Le réchauffement climatique (gaz à effet de serre) ;
- L'impact sur la biodiversité (pesticides) ;
- La consommation d'énergie (énergie non renouvelable) ;
- La gestion des surfaces cultivables (déforestation).

Le régime alimentaire humain repose à l'heure actuelle sur deux sources principales d'aliments, des aliments d'origine animale et des aliments d'origine végétale. La proportion de l'une ou de l'autre dépend des époques, des habitudes culturelles et des traditions culinaires de chaque pays.

Les besoins nutritionnels correspondent aux quantités d'énergie, de macronutriments et micronutriments nécessaires au fonctionnement physiologique d'un individu. Ces besoins varient selon l'état physiologique : le sexe, l'âge, la période de croissance, l'état de santé. En France, c'est l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), qui définit les Apports Nutritionnels Conseillés (ANC) correspondant aux différentes catégories de la population.

Les recommandations, pour une alimentation équilibrée ont été schématisées sous forme d'une pyramide alimentaire :



<https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/medecine/besoins-nutritionnels-et-apports-conseilles.-lequilibre-alimentaire> (2019)

De nos jours, les industries de l'agroalimentaire ont développé des méthodes de fragmentation (cracking) de matières premières (blé, maïs, soja, lait...) pour en séparer les différents constituants. Une fois ces éléments obtenus, ils peuvent être recombinaés afin de recomposer un nouvel « aliment » ou intégrés à d'autres préparations alimentaires.

Selon une étude réalisée en 2018, 70 % des produits étiquetés vendus en France en supermarchés contiendraient au moins un ingrédient issu du cracking (*Science et vie mars 2019*).

Le **document 2** présente les produits issus du cracking du blé.

Q2. Repérer les différentes étapes du cracking de l'amande de blé. **Lister les** différents composés finaux obtenus et **déterminer** leur nature biochimique commune.

L'amidon présent dans l'amande de blé est organisé en grain dont la structure et la composition moléculaire sont rappelées sur le **document 3**.

Q3. Repérer les deux macromolécules composant l'amidon et **décrire** la structure moléculaire de chacune d'elle en précisant la nature des liaisons osidiques.

Q4. Proposer un nom pour les deux enzymes permettant d'obtenir du sirop de glucose à partir de l'amidon de blé.

Le **document 4** présente différentes étiquettes de produit alimentaire indiquant la liste des ingrédients.

Q5. Repérer sur l'étiquette du hachis parmentier surgelé les ingrédients issus d'un « cracking » de céréales.

Dans les démarches de mise en place de recommandations alimentaires, les aliments étaient habituellement regroupés en catégories dépendant de leurs caractéristiques nutritionnelles. Depuis 2009, un autre type de classification a été proposé, fondé sur le degré de transformation appliquée aux aliments. La classification NOVA, d'origine brésilienne, est la plus utilisée et a popularisé le concept d'aliments ultra-transformés (AUT).

Plus récemment, la classification Siga a proposé des sous-groupes à cette classification NOVA afin de tenir compte des types de procédé de transformation et de la composition des produits.

1.2 Aliments ultra-transformés : degré de transformation et effet sur la santé

Le **document 5** présente les deux classifications, NOVA et Siga, en lien avec le degré de transformation et la composition des aliments.

Q6. A l'aide des documents 4 et 5, classer les 8 aliments suivants selon la classification NOVA : beurre demi-sel, fromage à pâte cuite, carotte, hachis Parmentier surgelé, confiture de fraise-rhubarbe, huile végétale aromatisée, biscuit fourré au chocolat, jus d'orange.

Le degré de transformation d'un aliment peut avoir un impact sur l'assimilation par l'organisme humain des nutriments constituant l'aliment : c'est ce qu'on appelle l'effet matrice. Les différentes catégories de nutriments n'ont pas le même effet matrice, le plus élevé étant dû aux protéines.

Une étude sur cet impact et ses résultats sont résumés dans le **document 6**.

Q7. Analyser les résultats de mesure des concentrations plasmatiques en acide oléique (18:1 n-9) pour montrer le lien entre le degré de transformation d'un aliment et la capacité d'assimilation des nutriments le constituant.

De récentes études ont été réalisées pour identifier l'impact sur la santé de la consommation de produits ultra-transformés. Le **document 7** présente un extrait de l'une de ces études : l'impact de la consommation de repas ultra-transformés sur l'énergie récupérée et le poids.

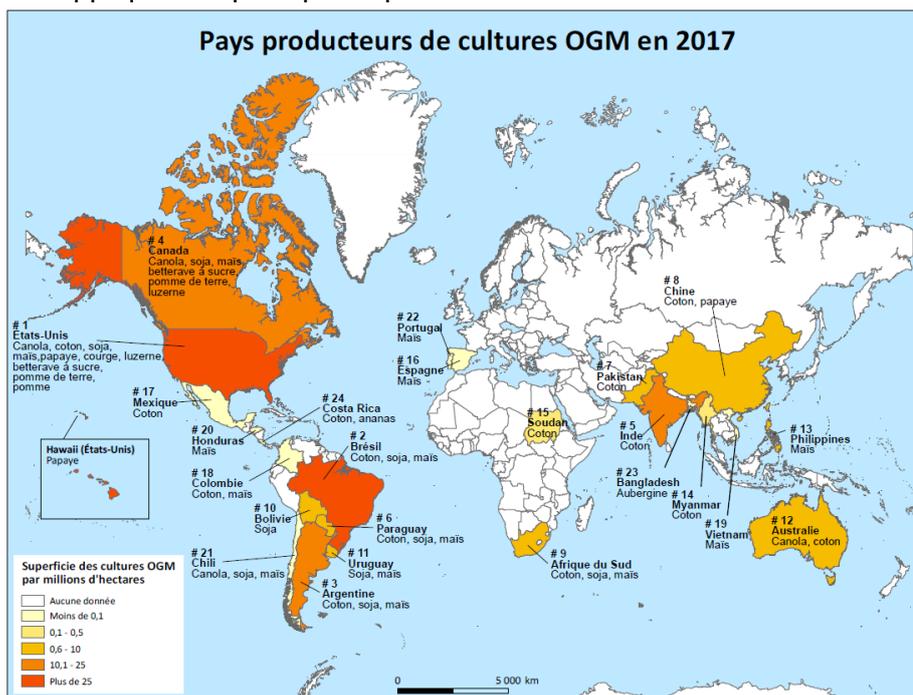
Q8. Comparer l'énergie récupérée pour les deux types de régime alimentaire selon la catégorie de nutriment. **Proposer** alors une hypothèse pour expliquer l'impact de la consommation de repas ultra-transformés.

Q9. Comparer l'évolution du poids des candidats selon leur régime alimentaire. **En déduire** l'importance de l'effet matrice sur l'assimilation des nutriments.

Les années 1980 ont vu également le développement des organismes génétiquement modifiés. Comme pour les aliments ultra-transformés qui représentent aujourd'hui une partie importante du régime alimentaire de nos sociétés industrialisées, ceux-ci ont fait une entrée remarquable dans les laboratoires, mais aussi dans nos assiettes selon le journal du CNRS n°270 de 2013. Les applications des OGM sont nombreuses (notamment en médecine, avec les vaccins et la thérapie génique), mais à l'heure actuelle, c'est surtout pour l'agriculture qu'ils sont massivement produits.

2 Les OGM, une expansion sous haute surveillance : l'exemple du soja

La carte des pays producteurs de cultures OGM en 2017 montre que les Américains sont de grands producteurs et consommateurs d'OGM (aux États-Unis, 90 % du maïs et du coton, et 94 % du soja sont issus de semences génétiquement modifiées). Les Européens par contre sont plutôt réfractaires et appliquent le principe de précaution.



La réglementation européenne prévoit qu'un OGM ne peut être mis sur le marché ou disséminé dans l'environnement sans autorisation préalable. Depuis 2016, L'EFSA (Agence de sécurité alimentaire européenne) autorise la mise sur marché européen de 58 plantes OGM dont le soja OGM commercialisé par Monsanto.

2.1 Création et intérêt d'une lignée transgénique de soja

Le soja est une plante annuelle qui peut atteindre 1,50 mètre de hauteur. Sa tige porte des feuilles groupées par trois et une quinzaine de gousses contenant chacune trois grains gros comme des petits pois. C'est la plante la plus utilisée dans le monde comme matière première pour la fabrication d'huile, de lait, de tofu (graines de soja écrasées en pâte), de farine, de germes consommés en légume, de tourteaux utilisés comme fourrage pour les animaux.

2.1.1 Transformation des cellules végétales

Le **document 8** présente les étapes permettant la création d'une plante transgénique.

Q10. Proposer une définition du terme « **gène d'intérêt** » employé dans ce document.

La construction génétique contenant le gène d'intérêt est transférée, soit directement soit indirectement, à un stade cellulaire avant de pouvoir régénérer la plante entière.

Q11. Expliquer pourquoi cette étape est indispensable à la création d'un organisme dit « génétiquement modifié ».

Q12. Décrire les étapes permettant d'obtenir la protéine d'intérêt à partir de l'ADN modifié.

Q13. Justifier la présence d'un gène marqueur dans la construction génétique. **En déduire** la nature du milieu choisi pour la sélection des cellules transformées.

2.1.2 Utilisation d'une lignée transgénique de soja

Le Canada autorise la commercialisation de la lignée de soja OGM MON 89788. Cette lignée est résistante à l'activité des herbicides contenant du glyphosate grâce à l'introduction d'une séquence de codage de l'enzyme CP4-EPSPS issue d'*Agrobacterium sp.*, souche CP4.

Cette enzyme, la CP4-5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase, est fonctionnellement équivalente à l'enzyme EPSPS des plantes ou d'*E. coli*, sauf qu'elle n'est pas inhibée par le glyphosate et permet à la plante transformée de tolérer l'herbicide (**document 9**).

Q14. Discuter l'intérêt pour les agriculteurs canadiens d'utiliser le soja transformé MON 89788 par rapport à une lignée conventionnelle non transformée, en vous appuyant notamment sur les valeurs de l'activité relative et de l'IC₅₀.

Q15. Proposer une hypothèse sur le mode d'action du glyphosate lors de l'inhibition de l'enzyme.

Le règlement européen 1829/2003 oblige l'étiquetage de tout ingrédient destiné à l'alimentation animale ou humaine produit à partir d'OGM ou dérivé d'OGM. Cet étiquetage intervient au delà d'un seuil de présence fortuite ou techniquement inévitable de 0,9 % de chaque ingrédient. La révélation de la présence d'OGM peut s'effectuer par la détection des protéines issues du transgène ou par une méthode fondée sur l'analyse de l'ADN.

2.2 Détection des séquences d'ADN par PCR

Cette technique permet d'obtenir une détection sur l'ensemble du génome. Elle évite les inconvénients des tests recherchant les protéines car l'ADN est une molécule relativement stable.

Le **document 10** montre que différentes techniques de PCR peuvent être appliquées en fonction de l'objectif. Les amorces choisies pour la PCR contrôle de l'ADN du végétal ciblent souvent les gènes des lectines, protéines présentes en grande quantité dans le soja.

Q16. Argumenter ce choix pour valider l'extraction de l'ADN.

Le **document 11** énonce les caractéristiques des différentes PCR. Au cours d'une PCR qualitative de dépistage, un résultat négatif ne permet pas de conclure de manière certaine à l'absence d'OGM du produit.

Q17. Préciser dans quel cas un résultat « faux négatif » est possible.

Le **document 12** complète le **document 11** en expliquant le principe de la PCR en temps réel.

Q18. Analyser le résultat de la PCR obtenu sur différents échantillons. **Argumenter** sur l'intérêt d'une telle technique par rapport à une PCR de dépistage classique.

Q19. A l'aide des différents documents, **conclure** sur la démarche conduisant à la quantification de soja OGM en donnant l'objectif de chaque étape.

2.3 Impact de la culture des OGM sur l'environnement.

Le **document 13** recense des informations sur l'impact des OGM sur les pratiques agricoles.

Q20. Construire un tableau permettant de lister ce qui semble être des avantages et des inconvénients de la culture des plantes OGM tolérantes aux herbicides.

La culture d'une plante, qu'elle soit génétiquement modifiée ou non, a forcément un impact environnemental notamment sur la biodiversité.

Une alternative à la culture massive de végétaux est de cultiver des organismes vivants réduisant cet impact tels que les spirulines, traditionnellement consommées depuis des siècles par certaines populations d'Afrique, d'Amérique et d'Asie. Depuis quelques années, dans les pays occidentaux, les spirulines font l'objet d'une redécouverte et sont qualifiées de « super-aliment » car elles présentent une composition protéique équilibrée, des lipides essentiels rares et de nombreux minéraux et vitamines.

3 La spiruline : un « super-aliment » facile à produire

Abusivement qualifiées « d'algues bleues-vertes », les spirulines ne sont pas des micro-algues, mais des bactéries appartenant à la famille des cyanophycées (cyanobactéries).

Elles se présentent généralement sous forme de filaments verts de 100 à 350 µm enroulés en spires plus ou moins serrées, d'où leur nom évocateur : initialement « *Spirulina platensis* », aujourd'hui renommée « *Arthrospira platensis* ».



Observation de spiruline au microscope photonique – Photo N. De Poix
Magazine de la Fédération des Spiruliniers de France - Décembre 2013

Les spirulines croissent naturellement dans les eaux chaudes, saumâtres et alcalines, riches en carbonates et bicarbonates. En France, dans les « fermes à spiruline », les conditions et le milieu de culture ont été adaptés au climat local et optimisés en tenant compte des besoins nutritionnels des souches utilisées.

3.1 Optimisation de la culture des spirulines

L'optimisation se fonde sur la compréhension du métabolisme énergétique et carboné des spirulines. Elles se développent dans un milieu exclusivement minéral, en présence de lumière en effectuant une photosynthèse proche de celle des végétaux, représentée dans le **document 14**.

Q21. Déterminer leur type trophique énergétique. **Justifier** leur qualification de « bactéries oxygéniques » et **en déduire** les intérêts majeurs de leur multiplication sur le plan écologique.

Q22. Identifier la source de carbone nécessaire à la synthèse des macromolécules bactériennes et **en déduire** le type trophique carboné de ces microorganismes.

La détermination des paramètres de la croissance, temps de doublement et taux de croissance, est indispensable à l'optimisation de la culture des spirulines. Le **document 15** présente les paramètres de croissance de diverses micro-algues et cyanobactéries.

Q23. Vérifier, par le calcul, la valeur du temps de doublement des spirulines.

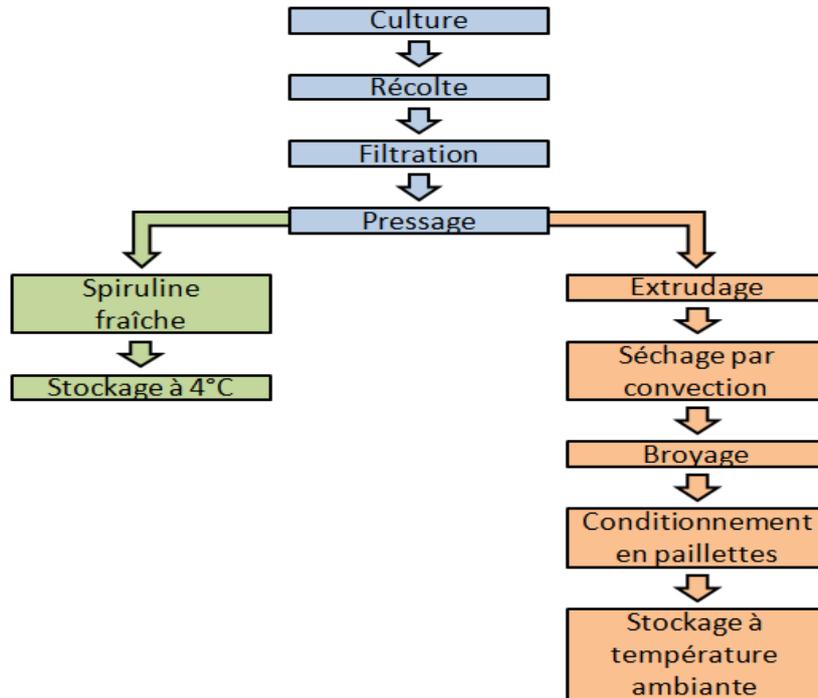
Dans le but d'optimiser la production de biomasse tout en maîtrisant les coûts, des études ont été réalisées en laboratoire. Le suivi de la croissance de la souche *Arthrospira platensis* est réalisé par mesure de l'absorbance à 880 nm. Différentes conditions de culture ont été testées et les résultats d'une partie de ces travaux sont présentés dans le **document 16**.

Q24. Déterminer les conditions de culture optimales de la souche *Arthrospira platensis*.

Les conditions optimisées de culture sont mises en œuvre dans des structures de production artisanales ou industrielles, appelées « fermes à spiruline ».

3.2 Production et conditionnement des spirulines

Les étapes de production et de conditionnement des spirulines peuvent être schématisées de la façon suivante :



Document réalisé par les auteurs

3.2.1 Mise en œuvre des spirulines

La première étape consiste à cultiver les spirulines en systèmes ouverts ou en systèmes fermés.

Les systèmes ouverts sont les systèmes de production les plus utilisés. Ils sont constitués de bassins en forme de circuit de course, d'où la dénomination bassin de type « raceway ». Ils sont généralement utilisés pour une production en grande quantité et à moindre coût.



Bassin de type “raceway”

<https://www.spiform.fr/> (2019)

Les eaux utilisées en production sont puisées dans des nappes phréatiques profondes (de 15 m à 90 m). Au regard du risque de contaminations microbiennes, l'ANSES insiste sur l'importance de la maîtrise de la qualité des eaux de production. Celles-ci sont traitées par filtration classique puis par UV.

Q25. Formuler une hypothèse justifiant le choix d'une eau souterraine plutôt qu'une eau de surface, comme eau de production.

Q26. A l'aide du **document 17**, **déterminer** le rôle de la filtration et du traitement UV. **En déduire** la nécessité d'effectuer la filtration préalablement au traitement UV.

Il peut parfois être préférable d'adoucir l'eau de forage pour favoriser la croissance des spirulines. Le **document 18** présente le procédé d'adoucissement par chromatographie d'échange d'ions.

Q27. Justifier le choix de la résine utilisée pour adoucir l'eau. **Expliquer** l'intérêt de la phase de régénération.

Les inconvénients de ces systèmes ouverts sont les concentrations relativement faibles de biomasse produite et une productivité fortement liée à la saisonnalité. En conséquence, des systèmes en culture fermés tubulaires et plans sont mis en œuvre. Plus coûteux à l'achat que les autres systèmes de culture, ils évitent cependant les risques de contamination et permettent une production tout au long de l'année.

Exemples de systèmes fermés



Photobioréacteur plan (Bitog et al., 2011)



Photobioréacteur tubulaire vertical
(Synoxis-algae.com)



Photobioréacteur tubulaire horizontal
(L'actualité chimique - n°381 - janvier 2014)

Le **document 19** présente les spécificités de la culture en photobioréacteur en comparaison avec les autres systèmes.

Q28. Enumérer les paramètres maitrisables permettant aux cyanobactéries de réaliser la photosynthèse. En **déduire** les principaux avantages de la culture en système fermé par rapport à la culture en raceway.

Après culture, la récupération de la spiruline est réalisée par filtration du milieu. La récolte de la spiruline s'effectue en pompant l'eau des bassins et en la faisant passer à travers une toile très fine. Cette toile va retenir la plupart des spirulines alors que l'eau va retourner au bassin.

Le **document 20** présente les deux procédés utilisés : le procédé classique (toile tendue sur un cadre en bois ou en métal) et le filtre à tambour rotatif.

Q29. Commenter l'allure des courbes. En **déduire** les principaux avantages de la filtration sur tambour.

La spiruline peut être commercialisée sous forme fraîche ou déshydratée.

3.2.2 Les formes de commercialisation de la spiruline

La spiruline fraîche :

Elle peut être consommée directement après pressage. Elle peut se conserver au réfrigérateur en récipient fermé jusqu'à 2 à 3 jours à 4°C.

Q30. Déduire du **document 21** l'intérêt d'un stockage de la spiruline aux températures de réfrigération. **Justifier** la durée maximale de conservation de 3 jours.

La spiruline déshydratée :

Après le pressage, la pâte obtenue est extrudée sous forme de fins filaments (1,4 mm de diamètre) afin d'en optimiser le séchage. Les "spaghettis" obtenus sont répartis sur des "clayettes" et placés dans le séchoir (photo ci-dessous).



L'extrudage

La Spiruline de Haute Saintonge : Trophée de la Haute Saintonge 2013

<https://www.spiruline-fr.com> (2019)

La spiruline sèche, sous forme de paillettes, peut se conserver plusieurs années sans perdre de ses qualités à condition d'être stockée à l'abri de l'humidité.

Le **document 22** présente le principe de la déshydratation.

Q31. Argumenter l'intérêt de l'opération de séchage de la spiruline et **justifier** les conditions de stockage de la spiruline déshydratée.

La facilité de production et de conservation de la spiruline, ainsi que sa richesse nutritive permettent de l'envisager comme une alternative aux aliments d'origine animale ou végétale.

3.3 Avantages de la culture de spiruline

Le **document 23** présente le rendement protéique, par hectare et par an, de différents types de cultures ainsi que la quantité d'eau nécessaire à la production d'un kilo de protéines, d'origine végétale ou animale, comparativement à celle de la spiruline.

Q32. Analyser les deux représentations graphiques et **en déduire** les principaux avantages de la spiruline.

Dans l'objectif de réduire l'impact environnemental, tout en permettant la satisfaction des besoins alimentaires de l'humanité d'ici 2050, la FAO a envisagé les insectes comme une solution possible.

Elle a publié un rapport en ce sens, en 2013, intitulé « Insectes comestibles : Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale ».

En Europe, les insectes font partie des « Novel Food » (ou « aliments nouveaux »). Ce groupe désigne des aliments ou ingrédients alimentaires dont la consommation en Europe était négligeable voir inexistante avant 1997.

4 Les insectes : une alternative pour l'avenir

L'**entomophagie** désigne la consommation d'insectes par l'être humain. Selon les estimations, entre 1300 et 2000 espèces d'insectes sont considérées comme comestibles. Ceux-ci font partie des repas traditionnels de 2 à 2,5 milliards de personnes dans le monde.

La consommation d'insectes par les êtres humains remonte à la préhistoire et à l'antiquité. A l'heure actuelle, l'entomophagie dépend fortement des coutumes culturelles et religieuses des différents pays. Ainsi, ils sont fortement consommés et appréciés en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud.

En revanche dans les pays occidentaux, malgré un regain d'intérêt récent, les insectes sont toujours davantage considérés comme nuisibles et ne font partie du régime alimentaire que d'un nombre très restreint d'individus.

4.1 Intérêts des insectes pour l'alimentation humaine : leurs apports nutritionnels

Les insectes apparaissent comme une source alimentaire saine et de bonne qualité, pouvant tout à fait s'intégrer dans un régime alimentaire de base constitué de viandes et de poissons.

La valeur nutritionnelle des insectes est très variable, notamment en raison de la grande diversité des espèces. Elle dépend également du stade de développement auquel l'insecte est consommé.

Le **document 24** donne la composition nutritive de vers de farine, pouvant être achetés et consommés en France.

Q33. Identifier les principaux apports nutritionnels du ver de farine.

Le **document 25** présente les valeurs nutritionnelles de différents aliments.

Q34. Comparer la teneur moyenne des principaux nutriments des insectes par rapport à d'autres animaux.

On considère qu'il y a 20 acides aminés différents présents naturellement dans les protéines. Parmi eux, 9 sont indispensables ou essentiels. Ceux-ci peuvent éventuellement être obtenus par recyclage des protéines de l'organisme mais cet apport est insuffisant pour couvrir les besoins nutritionnels journaliers.

Le **document 26** rappelle la structure et la classification de ces 20 acides aminés.

Q35. Rappeler au niveau métabolique la différence entre un acide aminé essentiel et un acide aminé non essentiel. **En déduire** pour l'organisme humain, la conséquence dans l'élaboration sa ration alimentaire.

Le **document 27** montre la teneur moyenne en acides aminés essentiels du ver de farine (*Tenebrio molitor*) et de la viande de bœuf.

Q36. Analyser les données fournies et **en déduire** l'intérêt d'un régime alimentaire combinant des insectes et de la viande animale conventionnelle.

La production de viande animale ayant un impact environnemental non négligeable, il est nécessaire d'envisager d'en diminuer la consommation d'ici 2050. A ce titre, les insectes pourraient faire partie des substituts possibles.

4.2 Impact environnemental d'une production d'insectes à grande échelle.

La production de viande destinée à l'alimentation humaine nécessite en amont un apport alimentaire, notamment céréales et protéines, pour les animaux.

Le **taux de conversion** est défini comme étant le rapport entre la quantité de nourriture fournie et celle d'aliment comestible produit.

Le **document 28** présente le pourcentage comestible de quatre animaux.

Q37. Analyser ces informations. **Proposer une hypothèse** concernant l'influence de cette donnée sur la valeur du taux de conversion.

Le **document 29** donne le taux de conversion obtenu lors de l'élevage de différents animaux.

Q38. Extraire les valeurs des taux de conversion exprimés en kg de nourriture nécessaire pour produire 1 kg d'aliment. **Exprimer** les données fournies pour X kg de nourriture apportée, en kg d'aliment comestible produit pour 10 kg de nourriture apportée.

Vérifier la cohérence entre les deux façons d'exprimer le taux de conversion.

Q39. Argumenter et conclure sur l'intérêt de la production d'insectes par rapport à d'autres animaux.

La production des aliments destinés aux animaux nécessite un apport d'eau et d'énergie, l'utilisation éventuelle de produits phytosanitaires ainsi qu'une surface cultivable.

Q40. Compléter la conclusion précédente en comparant le coût écologique d'une production d'insectes par rapport à la production de viandes animales conventionnelles (bœuf, porc,...).

Le tableau ci-dessous montre que le secteur de l'élevage contribue pour une part non négligeable aux émissions de gaz à effet de serre dans le monde.

| | Dioxyde de carbone (CO ₂) | Méthane (CH ₄) | Protoxyde d'azote (N ₂ O) |
|---|---|---|---|
| Pourcentage par rapport aux émissions globales | 9 | 35-40 | 65 |
| Provoquées par | La production d'engrais pour les cultures fourragères, les dépenses énergétiques agricoles, le transport fourrager, la transformation des produits animaux, le transport des animaux et les changements dans l'utilisation des terres | La fermentation entérique chez les ruminants et celle du fumier des animaux de la ferme | Le fumier et les urines des animaux de la ferme |

Contribution du secteur élevage aux émissions de gaz à effet de serre

FAO « Insectes comestibles : Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale » :
<http://www.fao.org/3/a-i3253f.pdf>

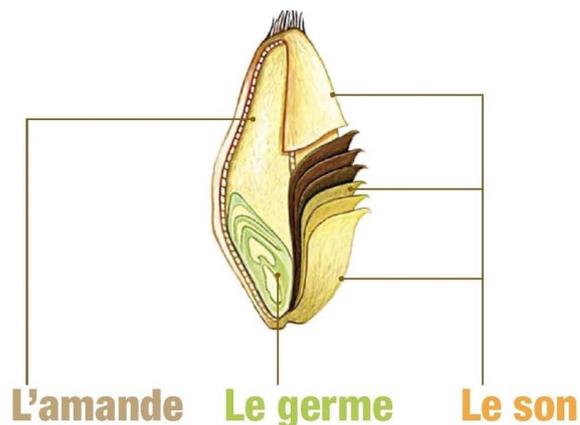
La production des principaux gaz à effet de serre peut être estimée en mg ou en g par kg de masse animale produite. Celle-ci a été mesurée pour différents animaux dans une étude, les résultats sont donnés dans le **document 30**.

Q41. Analyser ces données en tenant compte du fait que le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O) ont un potentiel de réchauffement planétaire (PRP) beaucoup plus grand que le CO₂.
En déduire l'intérêt de la production d'insectes vis-à-vis du rejet de gaz à effet de serre.

Nourrir l'humanité est bien un enjeu majeur du 21^{ème} siècle. Si elle veut éviter le risque de pénurie alimentaire, l'humanité doit s'interroger sur ses modes de production et de consommation. C'est un défi écologique complexe car il implique de produire plus, tout en respectant la biodiversité, les réserves naturelles de la planète et en minimisant l'impact sur le réchauffement climatique.

Document 1 : Les farines de blé tendre

Structure et composition d'un grain de blé tendre



<https://www.passioncereales.fr/dossier-thematique> (2019)

| Parties du grain | % respectif | Composition en % des différentes parties | | | | |
|------------------|-------------|--|----------|---------|----------|-----|
| | | Protéines | Glucides | Lipides | Minéraux | Eau |
| Grain | 100 | 14 | 64 | 2 | 4 | 16 |
| Amande | 80 | 12 | 75 | 1 | 0,5 | 1,5 |
| Germe | 3 | 30 | 47 | 10 | 3 | 10 |
| Son | 17 | 20 | 61 | 1 | 18 | |

Les différents types de farine de blé et leur composition

| Types de farine | Farines blanches | | Farine mi-blanche | Farines complètes | |
|-------------------|------------------|---------|-------------------|-------------------|-----------|
| | Type 45 | Type 55 | Type 80 | Type 110 | Type 150 |
| | | | | | |
| Taux d'extraction | 67 % | 75 % | 80 - 85 % | 85 - 90 % | 90 - 98 % |

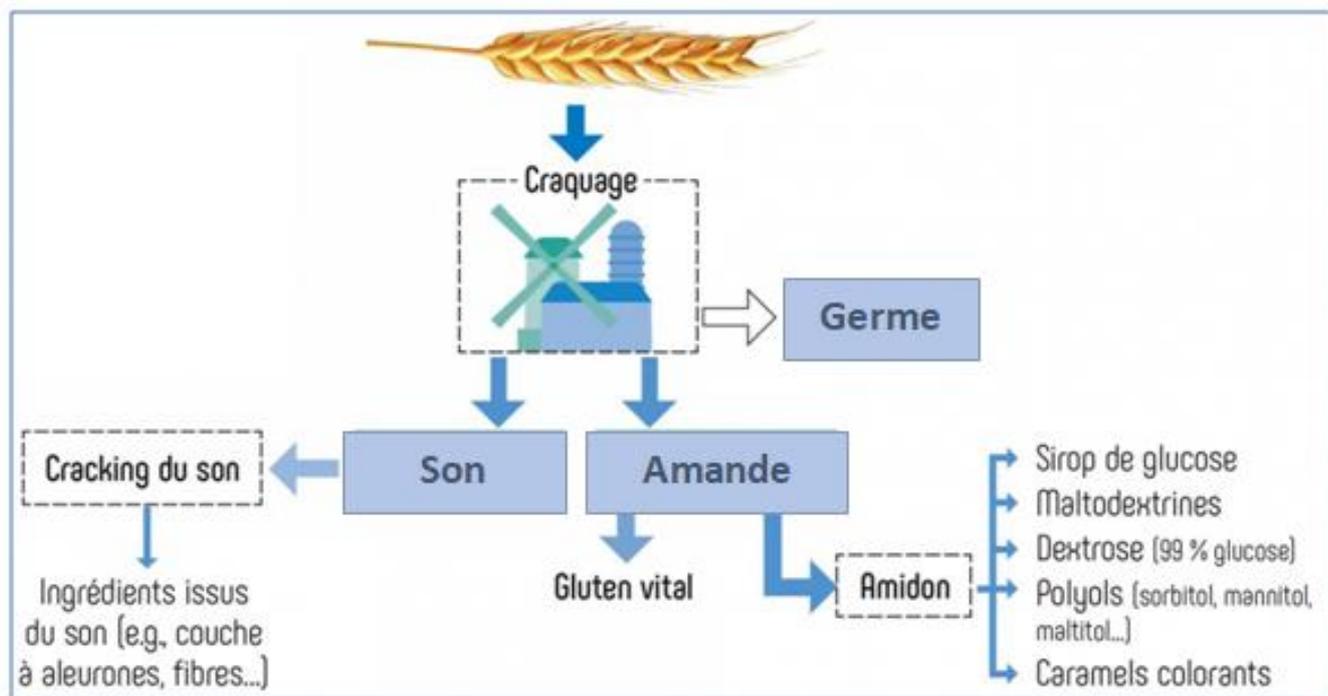
<https://painsuisse.ch/blog/types-de-farine-et-degres-de-mouture/> (2019)

Le taux d'extraction est la quantité de farine produite, exprimée en kg, par 100 kg de blé, donné en pourcentage.

Ainsi, une farine dont le taux d'extraction est de 75 % est dite « d'albumen » car les couches externes du grain ont été éliminées.

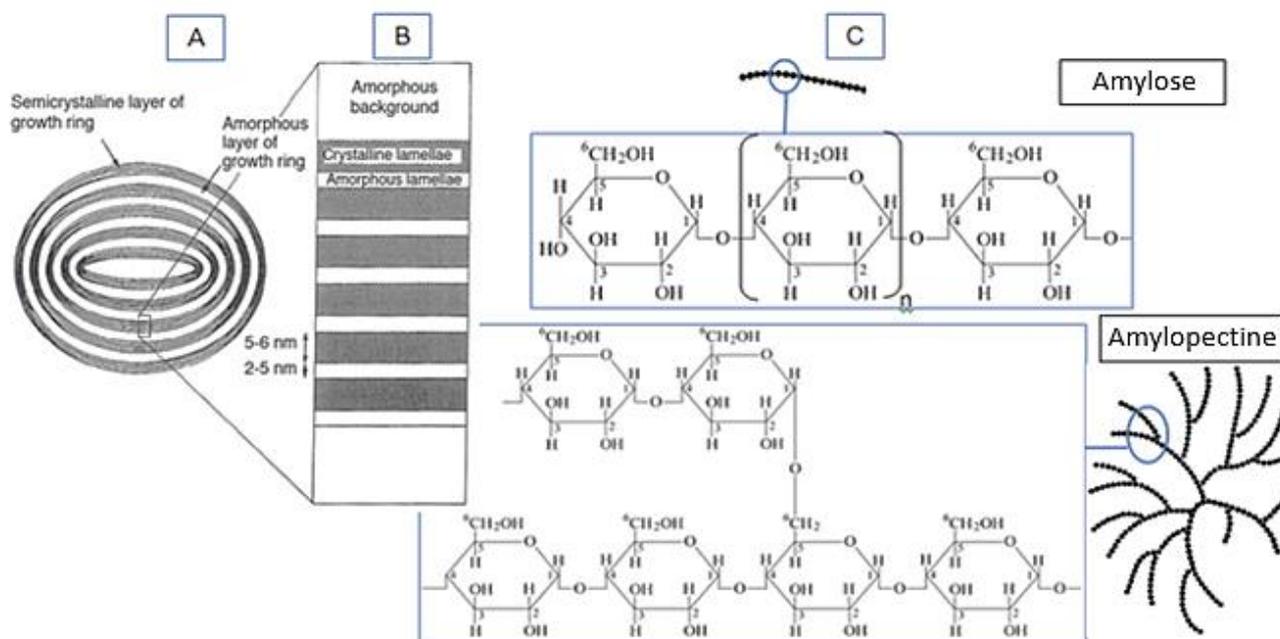
| Composition | En g pour 100 g | |
|-------------------|-----------------|------------|
| | Farine T150 | Farine T55 |
| Protides | 11,4-13,3 | 11-12,6 |
| Lipides | 2,1 | 1,5 |
| Glucides (Amidon) | 59 | 70 |
| Fibres | 1,7 | 0,5 |
| Minéraux | 1,5 | 0,55 |
| Vitamines | 0,008 | 0,002 |

Document 2 : Le cracking de l'amande et du son de blé



<https://bibliobs.nouvelobs.com/idees/20171227.OBS9840/les-faux-aliments-ont-colonise-jusqu-a-50-de-nos-supermarches.html>
(2019)

Document 3 : Structure d'un grain d'amidon



- A. Grain d'amidon avec alternance d'anneaux de croissance à couche amorphe et semi-cristalline ;
 B. Vue éclatée d'une couche semi-cristalline ;
 C. Structure moléculaire des lamelles des couches semi-cristallines.

Réalisé par les auteurs d'après Jenkins&all (1996) et commentée par Jacobs&all (1998) ; structure chimique d'après Buléon&all (1990)

Document 4 : Étiquettes de produits alimentaires

| | |
|--|--|
|  <p>JUS D'ORANGE DE FLORIDE AVEC PULPE FLASH PASTEURISÉ, RÉFRIGÉRÉ</p> <p>INGRÉDIENTS</p> <p>Jus d'orange, pulpe d'orange 3%.</p> | <p>Fromage à pâte pressée non cuite au lait de vache pasteurisé Ingrédients : lait (origine France), sel, ferments, conservateur : E235. Franse kaas op basis van pasteuriseerd koeienmelk.</p> |
| <p>Jus d'orange</p> | <p>Fromage à pâte pressée</p> |
|  <p>Beurre pasteurisé demi-sel - 80% mat. gr. Ingrédients : Beurre, sel (3% max). A conserver entre + 2°C et + 8°C A consommer de préférence avant le : (voir sur le côté) LB&C - Les Placis - 35230 Bourgbarré</p> | <p>FR GÂTEAUX FOURRÉS AU CHOCOLAT - Ingrédients : Farine de blé 21,9%, sucre, œufs frais, chocolat 14,3% (sucre, pâte de cacao, beurre de cacao, émulsifiant : lécithine de soja, arôme), huile de colza, huile de palme, fibre de chicorée, sirop de sucre inverti cristallisé, stabilisant : glycérol, cacao maigre en poudre, sirop de glucose, poudres à lever : diphosphates - carbonates de sodium, sel, arômes naturels, émulsifiant : mono- et diglycérides d'acides gras, conservateur : sorbate de potassium, gélifiant : gomme xanthane, émulsifiant : lécithine de soja, farine de blé malté, arôme. Présence possible de : arachide, fruits à coque, lait.</p> |
| <p>Beurre demi-sel</p> | <p>Biscuit fourré au chocolat</p> |
|  <p>Huile de colza (52%*), Oléisol® (huile de tournesol à haute teneur en acide oléique) (17%*), huile de tournesol (10%*), huile de pépins de raisin (1%), huile essentielle de coriandre, vitamine D. (*minimum)</p> | <p>Ingrédients : *Sucre de canne blond, *fraise, *rhubarbe, *jus de citron, épaississant : agar agar.</p> |
| <p>Huile végétale aromatisée</p> | <p>Confiture fraise-rhubarbe</p> |
| |  <p>HACHIS PARMENTIER SURGELÉ</p> <p>INGRÉDIENTS</p> <p>Flocons de pomme de terre réhydratés 47% (eau ; pomme de terre ; émulsifiant : E471 ; stabilisant : E450i ; conservateur : métabisulfites de sodium ; extrait d'épices ; antioxygènes : E330, E320), viande de bœuf 32%*, oignons 5%, chapelures (farine de blé, levure, sel, épices, poudre à lever : E503ii), poudre de lait écrémé, carottes 1,5%, emmental 1%, amidon transformé de maïs, fibres de pois, huile de tournesol, sel, vin blanc (dont sulfites), épices et aromates, émulsifiant : E471, épaississant : E461, sucre caramélisé (sucre, maltodextrine), bouillon (sel, arômes (dont céleri), sirop de glucose, matière grasse de palme, sucre, oignon, graisse de bœuf, acidifiant : E330, herbes et épices), arômes, colorant : E100.</p> |
| | <p>Hachis parmentier surgelé</p> |

Document 5 : Classifications NOVA et Siga

| Classification NOVA | Classification Siga | | | |
|--|---|---|--|--|
| Groupes d'aliments | Groupes d'aliments | Degré de procédé de transformation | Gras, sucres et sels | Additifs |
| Groupe 1 : Aliments frais ou minimalement transformés | Groupe A0 : Aliments non transformés | Sans procédé | Sans ajout | Sans additif |
| Groupe 2 : Ingrédients culinaires | Groupe A1 : Aliments peu transformés | Traitements physiques et/ou mécaniques et/ou thermiques | Groupe A2 : Ingrédients | Stricte utilisation d'additifs de conservation |
| Groupe 3 : Aliments transformés | Groupe B1 : Aliments transformés | | Groupe B2 Aliments transformés | |
| Groupe 4 : Aliments ultra- transformés (AUT) | Groupe C1 : Aliments ultra-transformés niveau 1 | | Groupes C2 et C3 : Aliments ultra-transformés niveaux 2 et 3 | |
| | | Traitements technologiques limités | Graisses, sucres et sels modérés | Usage limité d'additifs sans risque |
| | | Traitements technologiques élevés | Graisses, sucres et sels élevés | Possibles ajout de matières grasses raffinées |
| | | | Possibles ajout de graisses estérifiées, sucres hydrolysés | Nombre d'additifs élevés, parfois risqués |

Réalisé par les auteurs d'après : Article Anthony Fardet, INRA, février 2018, d'après Monteiro CA, Cannon, Levy et al. NOVA, World Nutrition January-March 2016 et <http://siga.care> (2019)

Document 6 : Etude de l'impact du degré de transformation d'un aliment sur l'assimilation de ses nutriments

Présentation de l'étude :

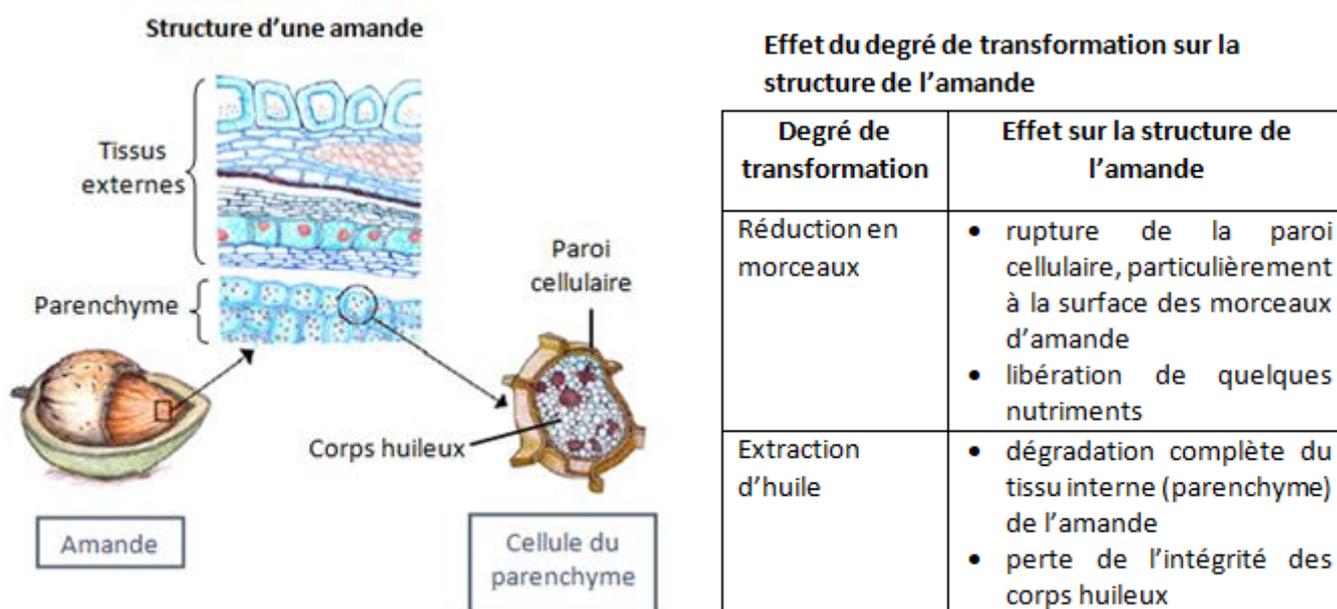
22 hommes en bonne santé ont été choisis pour réaliser cette étude. Ils ont mangé des repas contenant 3 muffins et de la crème anglaise. Chaque repas a la même valeur énergétique et la même composition biochimique : 116 g de glucides, 31 g de protéines et 54 g de lipides dont 36,3 g d'acide oléique (18:1 n-9).

Trois types de muffins ont été élaborés. Les participants ont été répartis en 3 lots :

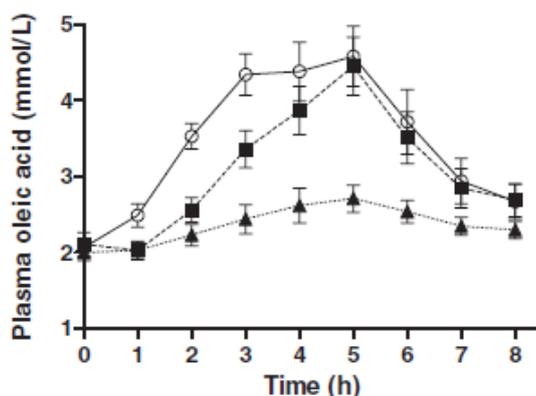
- ceux mangeant des muffins contenant des morceaux d'amandes*,
- ceux mangeant des muffins contenant de l'huile d'amandes
- ceux mangeant des muffins contenant de l'huile de tournesol

Un suivi de la concentration plasmatique en acide oléique, principal constituant de l'amande, est effectué sur chaque candidat.

*L'amande désigne ici le fruit de l'amandier



Résultats du suivi de la concentration plasmatique en acide oléique



Moyenne des concentrations plasmatiques en acide oléique après les repas tests aux muffins contenant les morceaux d'amandes (▲), l'huile d'amandes (■) et l'huile de tournesol (○), moyennes obtenues à partir de trois repas. L'huile de tournesol a été choisie car l'assimilation de l'acide oléique est maximale.

D'après: International Journal of Food Science and Technology, Grundy&all, juin 2016 et American Journal Clinical Nutrition, Berry&all, 2008.

Document 7 : Impact de la consommation d'un régime de repas ultra-transformés sur l'énergie récupérée et le poids

Présentation de l'étude :

Des volontaires, adultes et de poids stable, se sont portés candidats pour l'étude. Ils ont suivi un régime alimentaire de 4 semaines consécutives composé de :

- 2 semaines de consommation de repas composés d'aliments ultra-transformés (ultra-processed)
- 2 semaines de consommation de repas composés d'aliments non transformés (unprocessed)

Deux groupes de candidats ont été constitués aléatoirement pour suivre dans un ordre différent les deux types de régime alimentaire :

- un groupe commence par le régime de produits ultra-transformés suivi immédiatement du régime de produits non transformés,
- l'autre groupe fait l'inverse.

Les candidats peuvent manger la quantité qu'ils désirent.

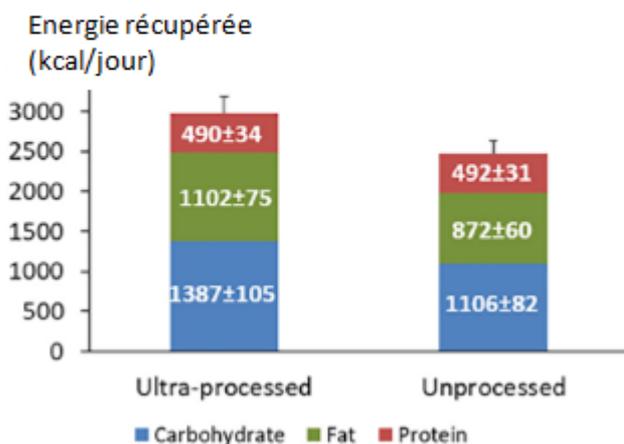
Les menus ont été établis sur une semaine, équilibrés en calories et en différentes catégories de nutriments. Les deux types de régime ont une composition biochimique semblable.

Un suivi de l'énergie récupérée et du poids des candidats est effectué tout au long des périodes de régime. L'apport calorique n'évolue pas au cours des 2 semaines d'un même régime alimentaire.

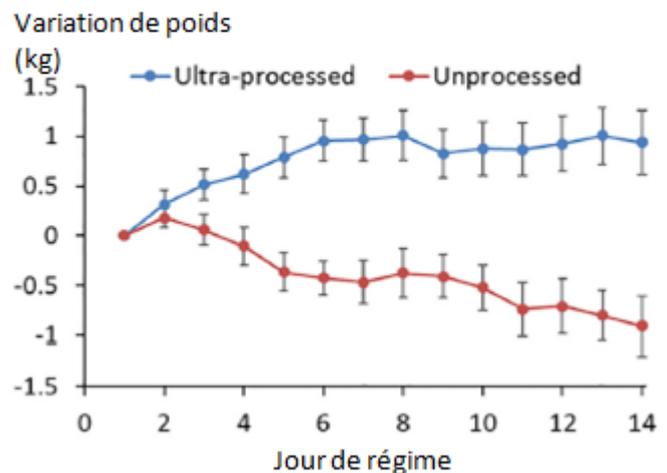
Résultats de l'étude :

Les résultats obtenus sont identiques quel que soit l'ordre des régimes alimentaires consommés par les candidats.

Document 7a : Répartition de l'énergie récupérée en fonction des catégories de nutriments



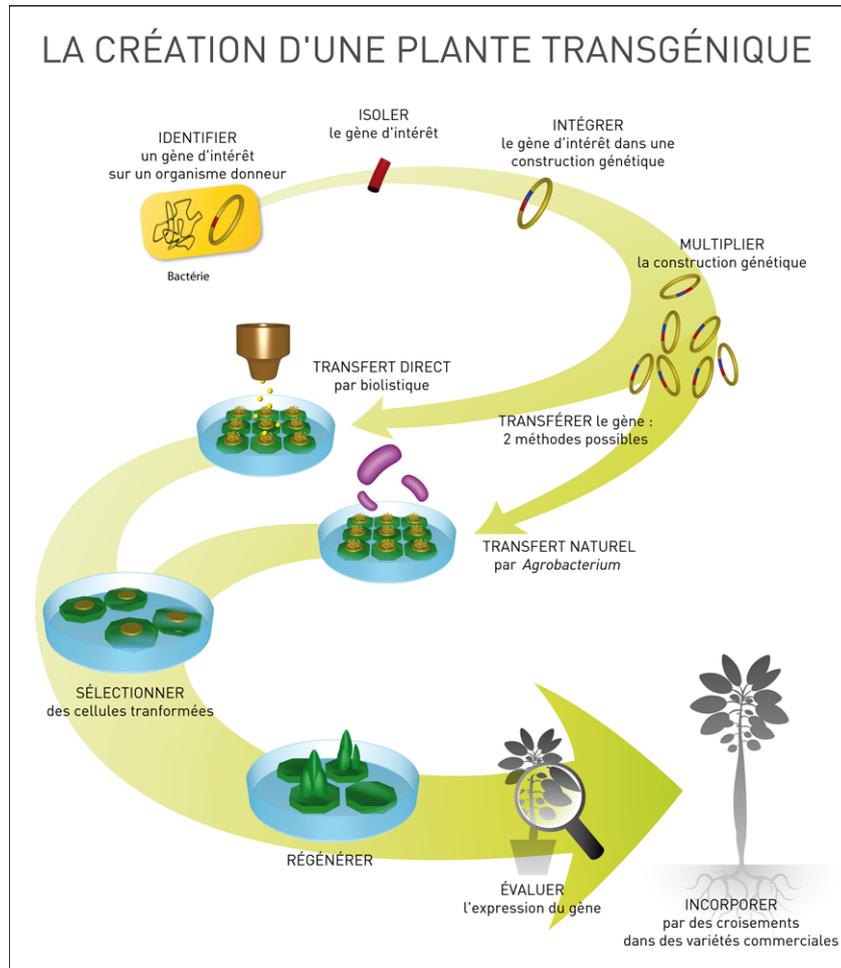
Document 7b : Evolution du poids des candidats au cours du régime alimentaire



D'après : *Cell Metabolism* (n°30 - 2019 par Kevin D. Hall & all)

Document 8 : Création d'une plante transgénique

Document 8a : Etapes nécessaires à la création d'une plante transgénique



<http://www.ogm.org>

Document 8b : Transformation par les agrobactéries

- **Caractéristiques des agrobactéries :**

Agrobacterium tumefaciens est une bactérie qui, dans la nature, provoque des tumeurs au niveau de blessures de plantes. Les tumeurs sont provoquées par le transfert, de la bactérie vers la plante, d'un plasmide (le plasmide Ti pour *Tumor-inducing*) dont un fragment (ADN-T, T pour *transfert*) s'insère dans le génome de la plante.

- **Séquence de l'ADN-T transféré :**

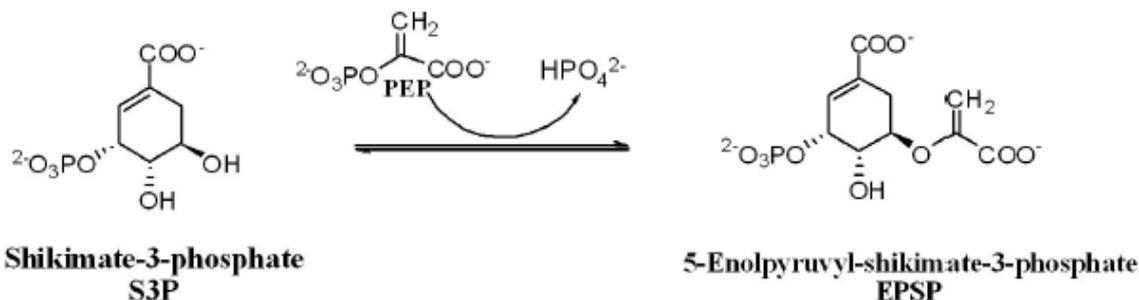


- **promoteur** : séquence placée en amont du gène et qui permet la transcription de celui-ci en permettant la fixation d'une ARN polymérase.
- **gène marqueur** : le gène marqueur peut être un gène de résistance à un antibiotique.
- **site de terminaison** : site au niveau duquel l'élongation de l'ARN prend fin.

Document réalisé par les auteurs

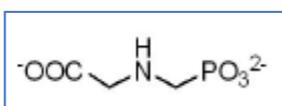
Document 9 : L'enzyme EPSPS

L'enzyme EPSPS est une enzyme impliquée dans la voie de synthèse d'acides aminés aromatiques suivant la réaction :

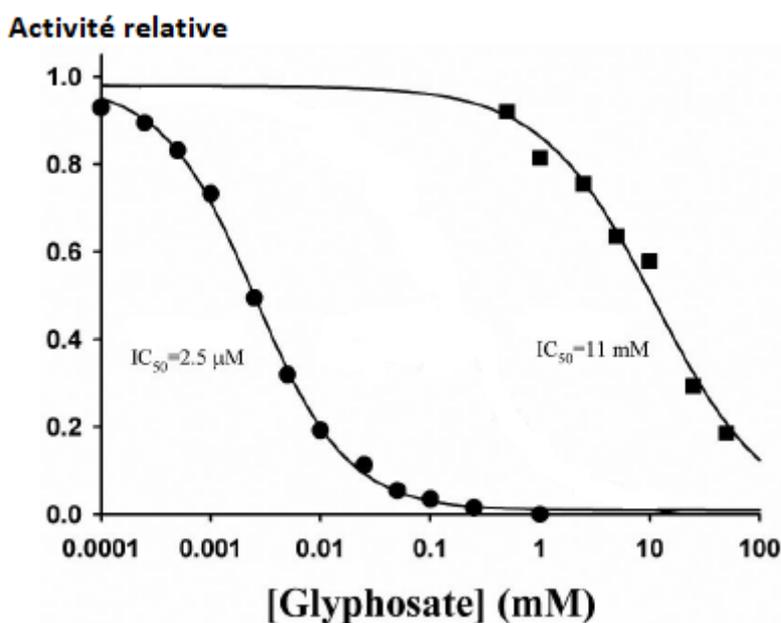


Le glyphosate, dont la structure est donnée ci-dessous, est un inhibiteur de cette enzyme.

Structure du glyphosate :



Effet du glyphosate (mmol.L^{-1}) sur l'activité de l'enzyme EPSPS

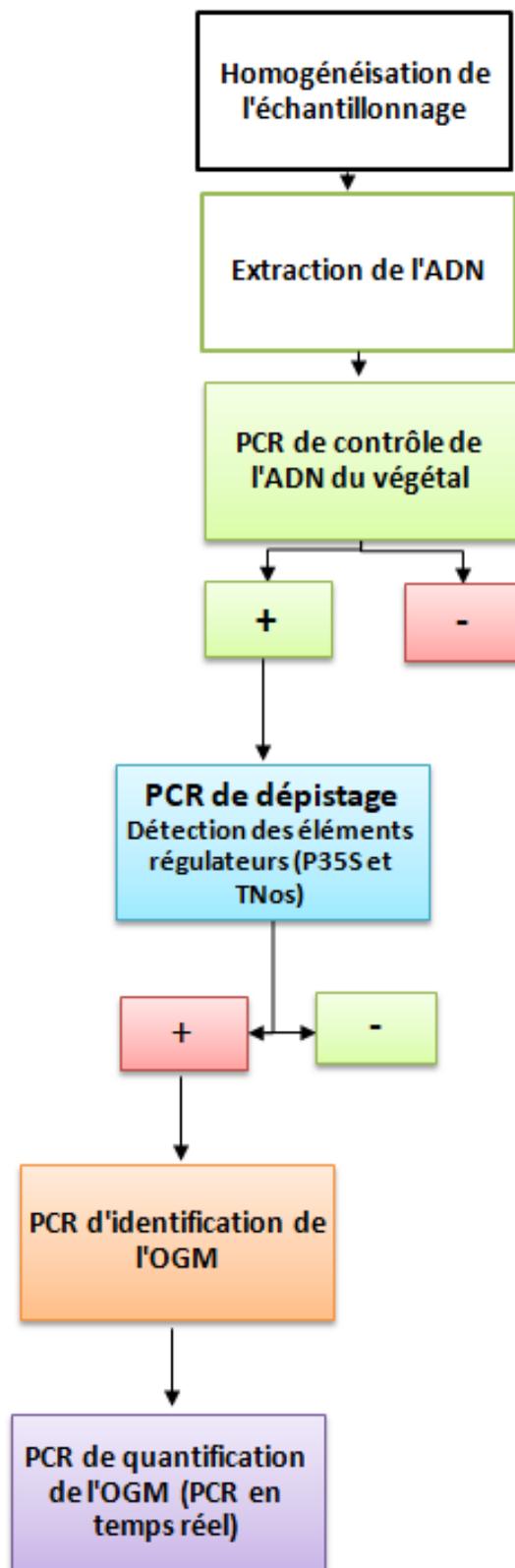


Courbe d'activité relative de l'EPSPS (●), de la CP4-EPSPS (■)

L'activité relative correspond au rapport de l'activité de l'enzyme en présence du glyphosate sur l'activité de l'enzyme en absence de glyphosate. L' IC_{50} ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) correspond à la concentration en glyphosate pour laquelle l'activité enzymatique est réduite de 50 %.

D'après : <https://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0603638103>

Document 10 : Démarche de détection et d'identification d'un OGM



D'après : JRC European commission : [gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/capacitybuilding/manuals/Manual FR/Module 02.pdf](http://gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/capacitybuilding/manuals/Manual_FR/Module_02.pdf)

Document 11 : Caractéristiques des différentes catégories de PCR

PCR qualitative de dépistage :

Les gènes insérés en génie génétique n'utilisent qu'un petit nombre de séquences régulatrices pour contrôler l'expression des gènes insérés dans les récoltes OGM. Parmi les séquences régulatrices les plus couramment utilisées, on trouve le promoteur 35S du virus de la mosaïque du chou-fleur et/ou le terminateur de la nopaline synthase (NOS) de *Agrobacterium tumefaciens*.

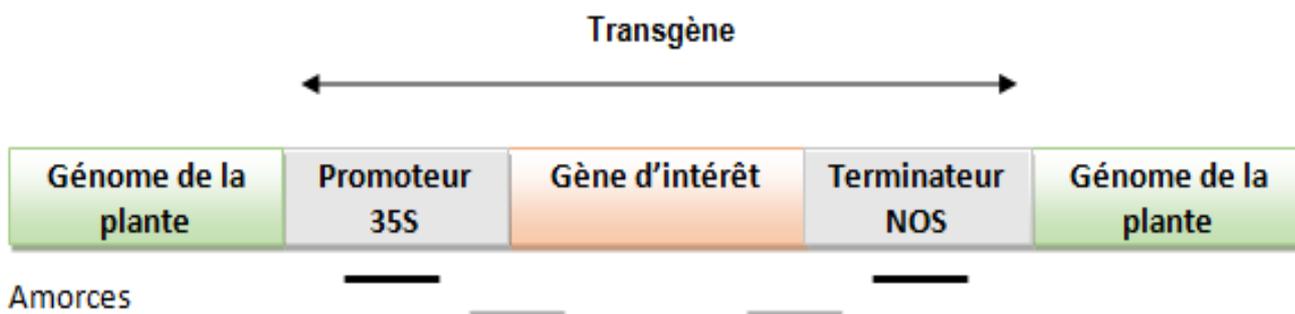
Remarque : en cas de résultat positif, il faut s'assurer que les séquences P35S et Tnos ne sont pas présentes en raison de la présence des organismes donneurs dont ils sont issus : Agrobacterium tumefaciens et le virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV). Car si tel est le cas, on a affaire à des "faux positifs".

PCR d'identification :

Pour une identification, la PCR peut être réalisée avec des amorces "construit spécifique" (amorces à l'intérieur du transgène).

PCR quantitative :

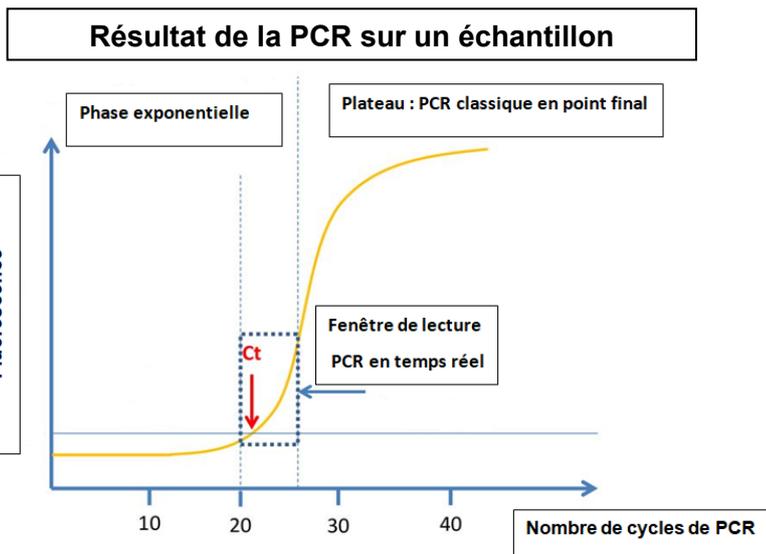
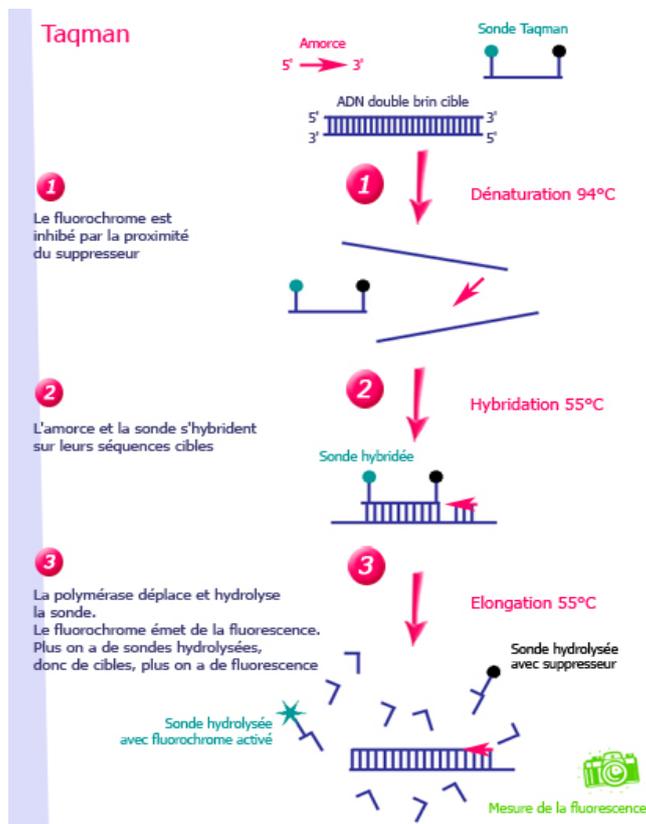
La PCR quantitative consiste à quantifier le nombre de molécules d'ADN initiales. La PCR quantitative en "temps réel" est actuellement très utilisée.



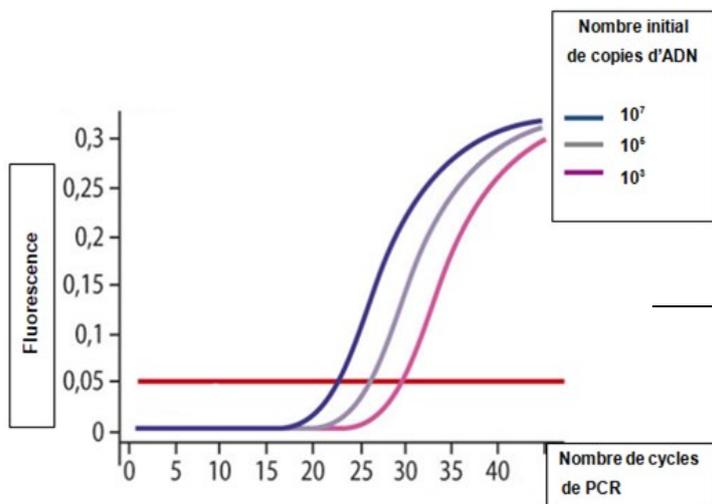
D'après : JRC European commission : [gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/capacitybuilding/manuals/Manual FR/Module 02.pdf](http://gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/capacitybuilding/manuals/Manual_FR/Module_02.pdf)

Document 12 : Principe de la PCR quantitative par technique Taqman®

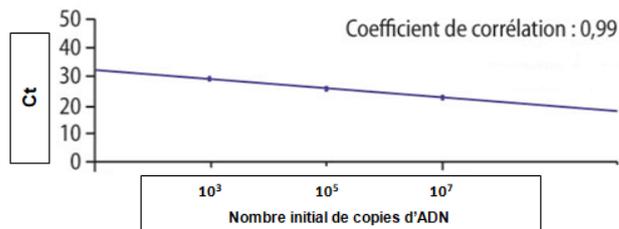
Le résultat d'une PCR en temps réel est représenté graphiquement sous forme de courbes dont uniquement la partie linéaire en échelle logarithmique, est exploitée. Chaque courbe correspond à un échantillon et représente la mesure de la fluorescence de cet échantillon pour chaque cycle du thermocycleur.



Résultat de la PCR sur différents échantillons



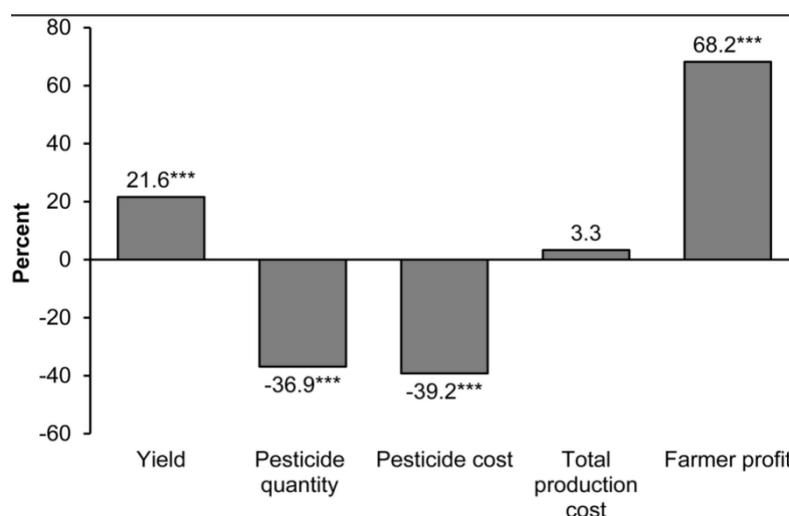
Quantification grâce à une gamme de calibration



Réalisé par les auteurs d'après : <http://www.ilm.pf/PCRtempsreel> (2019). La PCR et ses évolutions- Bruno Durand – professeur de biochimie génie biologique. Revue - Correspondances en Onco-Hématologie / N° 4 déc. 2012

Document 13 : Impact environnemental des OGM

Document 13a : Impact des céréales OGM sur les pratiques agricoles :



La figure indique les écarts moyens en pourcentage entre les cultures OGM et non OGM. Les résultats se rapportent à toutes les cultures GM, y compris les caractères tolérants aux herbicides et résistants aux insectes. Le nombre d'observations varie selon la variable de résultat ; rendement (yield) ; quantité de pesticides ; coût des pesticides ; coût total de production ; profit des agriculteurs.

*** indique la signification statistique au niveau de 1 %.

D'après : *A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops* : Wilhelm Klümper, Matin Qaim
Published : November 3, 2014 - <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111629>

Document 13b : Plantes tolérantes au glyphosate, le mieux est l'ennemi du bien :

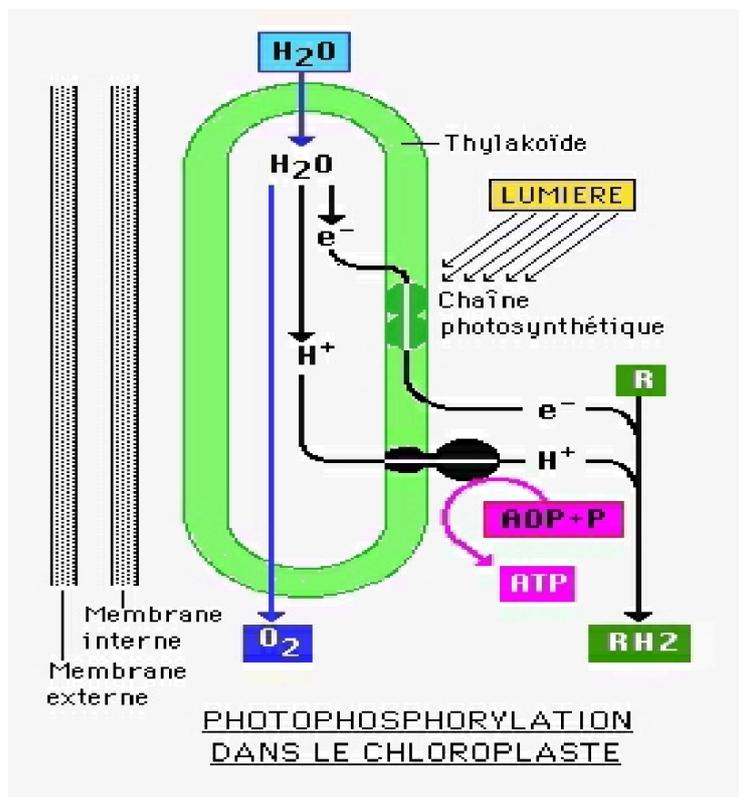
(...) Enthousiasmés par les coûts de production réduits de la culture du soja génétiquement modifié et par la demande croissante de produits de soja, les cultivateurs de soja argentins et brésiliens n'ont pas tardé à étendre leurs surfaces de production. Les modèles mathématiques estiment que plus de 8,6 millions d'hectares supplémentaires ont été plantés à cause de la disponibilité d'un soja résistant aux herbicides. Vu que la culture du soja OGM est financièrement plus intéressante, en raison d'une demande de soja sans cesse accrue et de pluies plus abondantes dans les forêts sèches de Chaco, de vastes étendues ont même été déboisées en Amérique du Sud. Cette gigantesque surface de culture du soja suscite également des inquiétudes par rapport aux effets négatifs d'une monoculture. En plus d'épuiser certains nutriments du sol, les cultures tolérantes aux herbicides pratiquées à grande échelle entraînent l'utilisation d'un même herbicide sur de très grandes étendues. Selon la quantité dans laquelle ils sont utilisés, tous les produits, des herbicides tels que le glyphosate compris, ont un effet nocif sur l'environnement. (...)

L'usage massif de glyphosate dans les cultures de plantes tolérantes au glyphosate n'est pas une bonne évolution. Mais lorsque les plantes tolérantes aux herbicides sont cultivées de manière réfléchie en respectant les pratiques agricoles adéquates, elles peuvent contribuer indirectement à une baisse significative de l'impact de l'agriculture sur l'environnement en favorisant une agriculture sans labour.

Extrait du rapport « Impact des plantes génétiquement modifiées sur l'environnement » de 2016 du VIB (Vlaams Instituut voor Biotechnologie) Belgique.

Document 14 : Métabolisme énergétique des bactéries et des végétaux

La photosynthèse végétale et la photolyse de l'eau



<http://svt.laurence.michel.pagesperso-orange.fr/la%20phase%20photochimique%20de%20la%20photosynthese.html> (2019)

Les différents types trophiques des bactéries

| | Bactéries chimiotrophes | | Bactéries phototrophes | |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Source d'énergie | Chimique | | Lumineuse | |
| Source d'électrons | Chimioorganotrophe | Chimiolithotrophe | Photoorganotrophe | Photolithotrophe |
| | Molécule organique | Molécule minérale | Molécule organique | Molécule minérale |
| Source de carbone | Hétérotrophe | Autotrophe | Hétérotrophe | Autotrophe |
| | Molécule organique | Dioxyde de carbone | Molécule organique | Dioxyde de carbone |

Document réalisé par les auteurs

Document 15 : Les paramètres de la croissance des microorganismes

Présentation des paramètres de croissance des microorganismes :

Les microorganismes présentent une phase exponentielle de croissance, modélisée par l'équation :

$$X = X_0 \cdot e^{\mu t}$$

avec : X_0 = concentration initiale au temps t_0 ;

μ = taux ou vitesse de croissance spécifique ;

t = temps de culture

La fonction logarithmique permet de linéariser la représentation de la phase exponentielle de croissance en une droite d'équation :

$$\ln (X/X_0) = \mu_m \cdot t$$

avec μ_m = taux de croissance spécifique maximal

Le temps de doublement ou temps de génération (**G**) et le taux de croissance μ_m sont reliés par la relation : **G = ln2 / μ_m** .

Document réalisé par les auteurs

Taux de croissance et temps de doublement de diverses microalgues et cyanobactéries :

| Microorganisme | Taux de croissance maximum (J ⁻¹) | Temps de doublement (Jour) |
|----------------------------------|--|-------------------------------|
| <i>Botryococcus braunii</i> | 0,20 | 3,40 |
| <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> | 3,80 | 0,18 |
| <i>Chlorella vulgaris</i> | 1,84 | 0,37 |
| <i>Navicula muralis</i> | 2,63 | 0,26 |
| <i>Pleurochrysis carterae</i> | 0,65 | 1,10 |
| <i>Rhodomonas salina</i> | 0,60 | 1,15 |
| <i>Arthrospira platensis</i> | 0,50 | 1,38 |
| <i>Thalassiosira pseudonana</i> | 2,48 | 0,27 |

"Opportunités de développement de la filière microalgues à l'île de la Réunion"

Mélanie SALOMEZ – Septembre 2009

Document 16 : Résultats de l'étude de différentes conditions de culture de la souche *Arthrospira platensis*

Note : OD = "Optical Density" ; paramètre équivalent à "Absorbance"

Figure 1 : Influence de la nature du milieu de culture sur la croissance

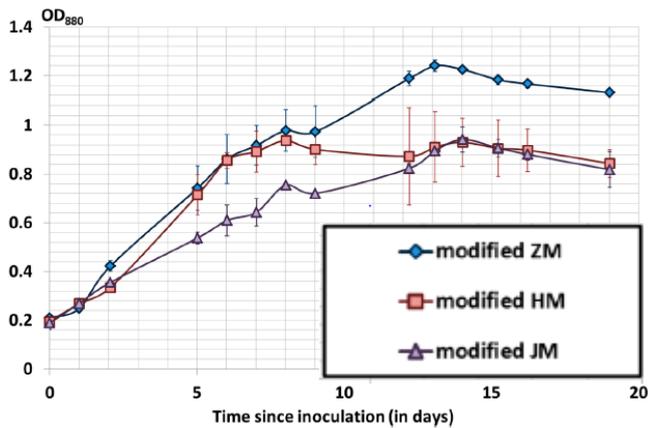


Figure 2 : Influence de la concentration de biomasse initiale (exprimée en concentration de poids sec) sur la croissance

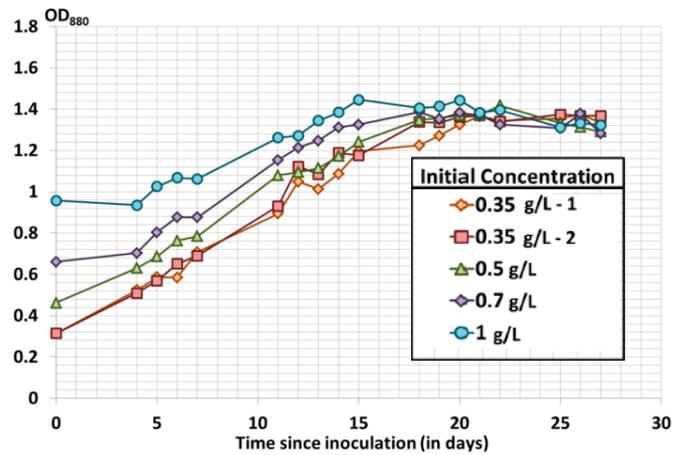


Figure 3 : Influence de la concentration du milieu sur la croissance

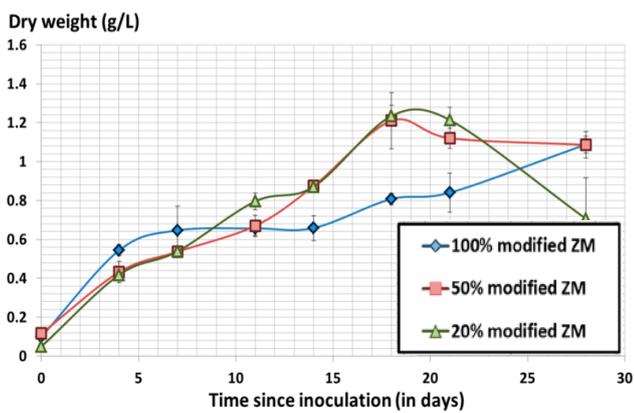
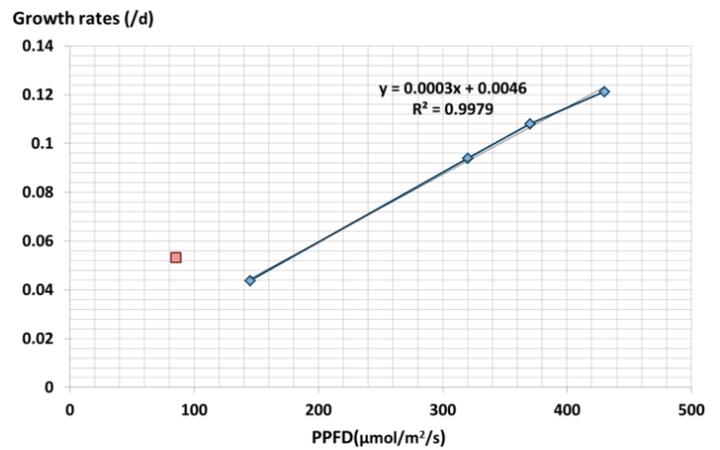


Figure 4 : Effet de l'intensité lumineuse sur la croissance



D'après : <https://doi.org/10.3390/fermentation3040059>

Document 17 : Traitements des eaux de production

Différents procédés de filtration membranaire :

| Procédé membranaire | Filtration classique | Microfiltration | Ultrafiltration | Nanofiltration | Osmose inverse |
|---------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|----------------|----------------|
| Seuil de coupure | > 10 μm | 0,1 à 10 μm | 1 nm à 0,1 μm | 0,1 à 1 nm | < 0,1 nm |

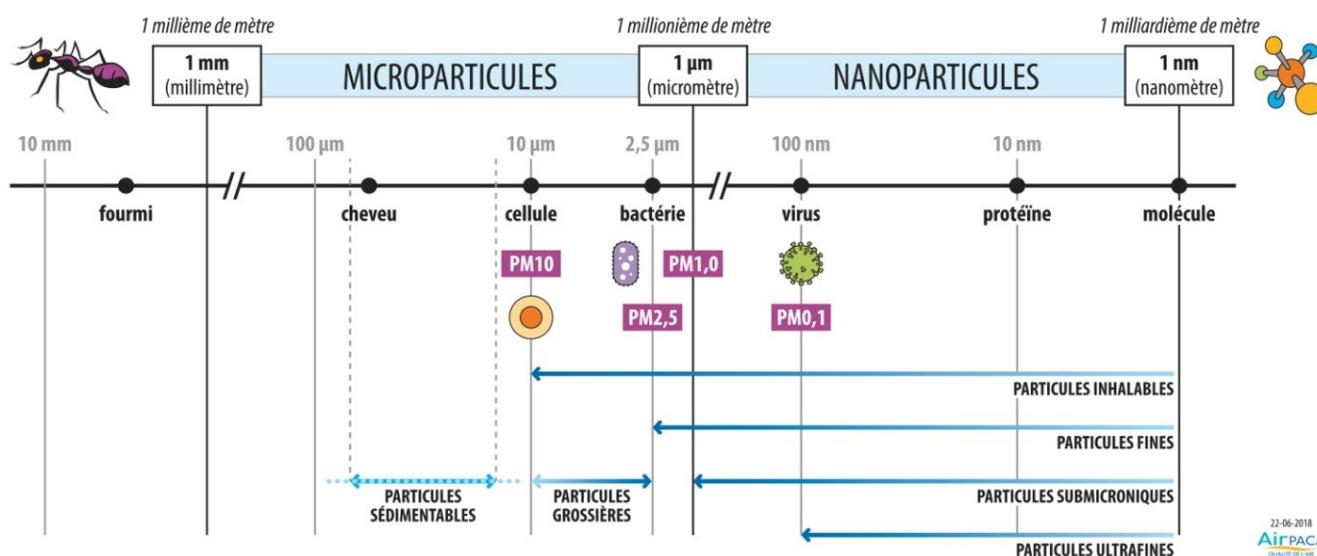
Document réalisé par les auteurs

Mode d'action des rayons ultra-violetts :

Les rayons UV de faible longueur d'onde, peu pénétrants, nommés UV- C (240 à 280 nm) sont fortement absorbés par les protéines et les acides nucléiques contenus dans les cellules vivantes. L'irradiation par les UV- C entraîne la dénaturation des protéines et provoque la formation de dimères de thymine T=T à l'intérieur de la double hélice d'ADN.

Document réalisé par les auteurs

Echelle de grandeur du vivant

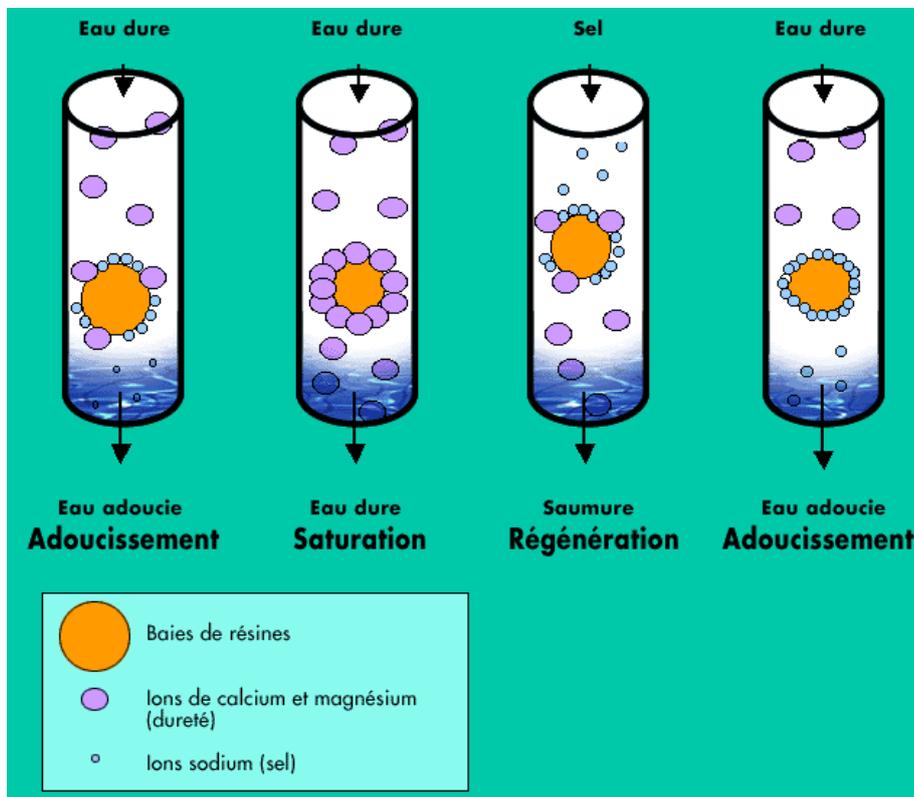


22/06/2018 - Air Paca-Qualité de l'air

Document 18 : Résine échangeuse d'ions

Un échangeur d'ions est une substance granulaire insoluble (résine) susceptible d'échanger les ions positifs ou négatifs fixés sur ses radicaux, contre des ions de même signe présents dans l'eau avec laquelle elle est en contact.

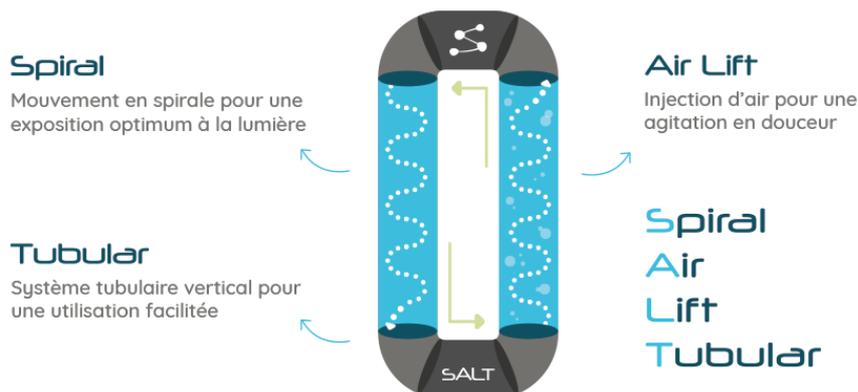
La résine échangeuse d'ions utilisée pour l'adoucissement de l'eau est de type sulfonique. Les radicaux qu'elle comporte sont de formule : $(R-O-CH_2-CH_2-CH_2-SO_3^-) Na^+$



<http://guilhaumont.fr/opale/1es-nourrir/co/eau-traitement.html> (2019)

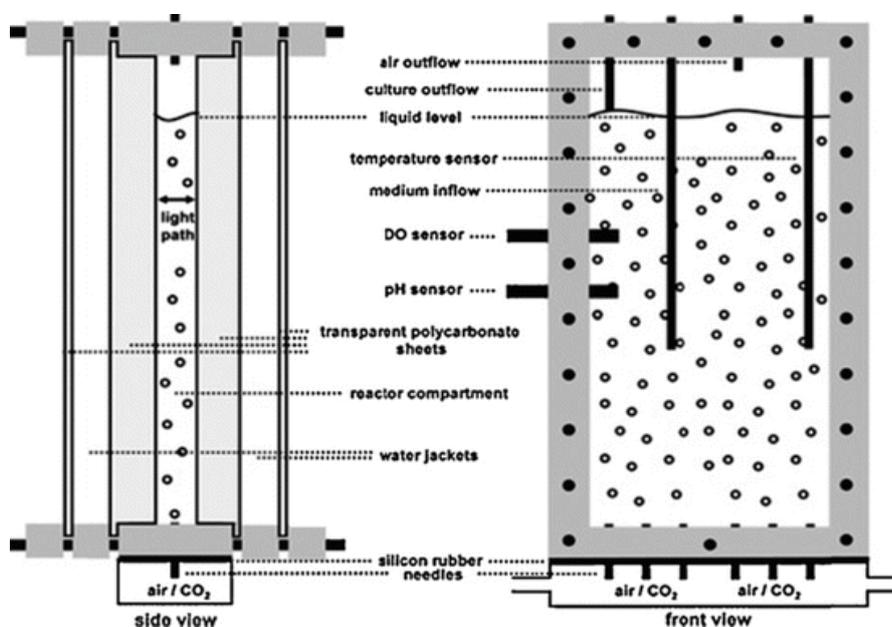
Document 19 : Caractéristiques de la culture en photobioréacteur

Technologie SALT :



Synoxis-algae.com (2019)

Schéma du photobioréacteur et de ses périphériques :



<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.029>

Productivité de différents procédés en fonction des espèces microbiennes :

| Système de culture | Espèce | Localisation | Productivité (g.L ⁻¹ .j ⁻¹) | Référence |
|--------------------------|----------------------------------|--------------|--|---------------------------|
| Raceway | <i>Spirulina sp.</i> | Espagne | 2-15 | Jimenez et al., 2003 |
| Raceway | <i>Spirulina platensis</i> | Israël | 0,18 | Lee, 2001 |
| Raceway | <i>Anabaena sp.</i> | Espagne | 0,1 | Moreno et al., 2003 |
| Tubulaire | <i>Spirulina platensis</i> | Italie | 0,9 | Tredici et Zittelli, 1998 |
| Tubulaire | <i>Haematococcus pluvialis</i> | USA | 9-13 | Tredici, 2004 |
| Tubulaire | <i>Spirulina platensis</i> | Israël | 1,5 | Richmond et al., 1993 |
| Tubulaire horizontal | <i>Spirulina platensis</i> | Italie | 1,26 | Tredici et Zittelli, 1998 |
| Plan | <i>Spirulina platensis</i> | Italie | 1,93 | Tredici et Zittelli, 1998 |
| Plan | <i>Spirulina platensis</i> | Italie | 1,09 | Tredici et Zittelli, 1998 |
| Plan | <i>Spirulina platensis</i> | Israël | 4,4 | Hu et al., 1996 |
| Colonne à bulles | <i>Isochrysis galbana</i> | Israël | 4,6 | Qiang et Richmond 1994 |
| Colonne à bulles | <i>Haematococcus pluvialis</i> | Espagne | 0,06 | Lopez et al., 2006 |
| Airlift plan | <i>Chlorella vulgaris</i> | Intérieur | 2,64 | Degen et al., 2001 |
| Airlift interne | <i>Chlorella sp.</i> | Intérieur | 0,21 | Xu et al., 2002 |
| Airlift et PBR tubulaire | <i>Phaeodactylum tricornotum</i> | Espagne | 0,7 | Garcia-Malea et al., 2009 |

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.029>

Document 20 : Procédés de séchage



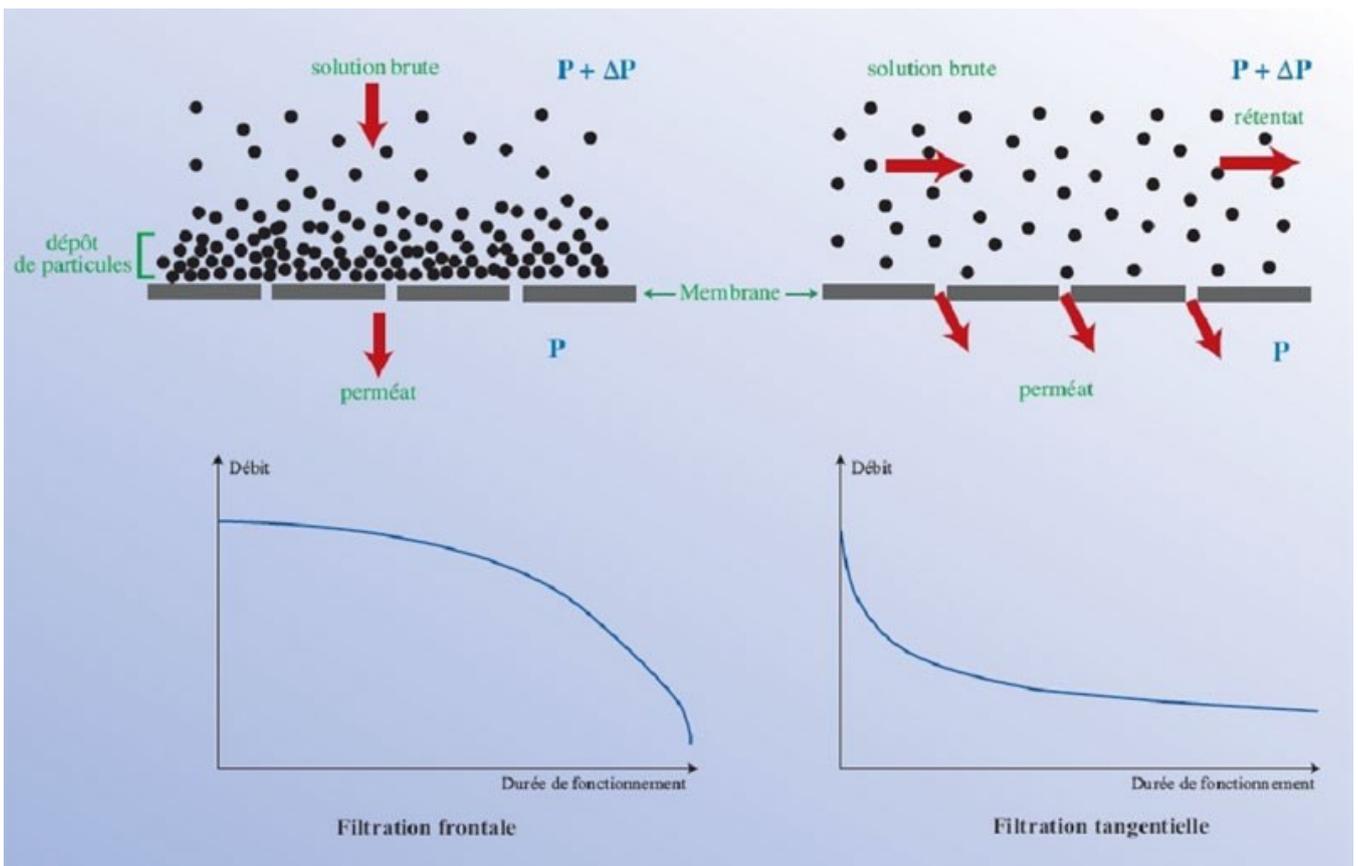
Procédé classique : filtration frontale

D'après : <http://www.laspiraleverte.com> (2019)



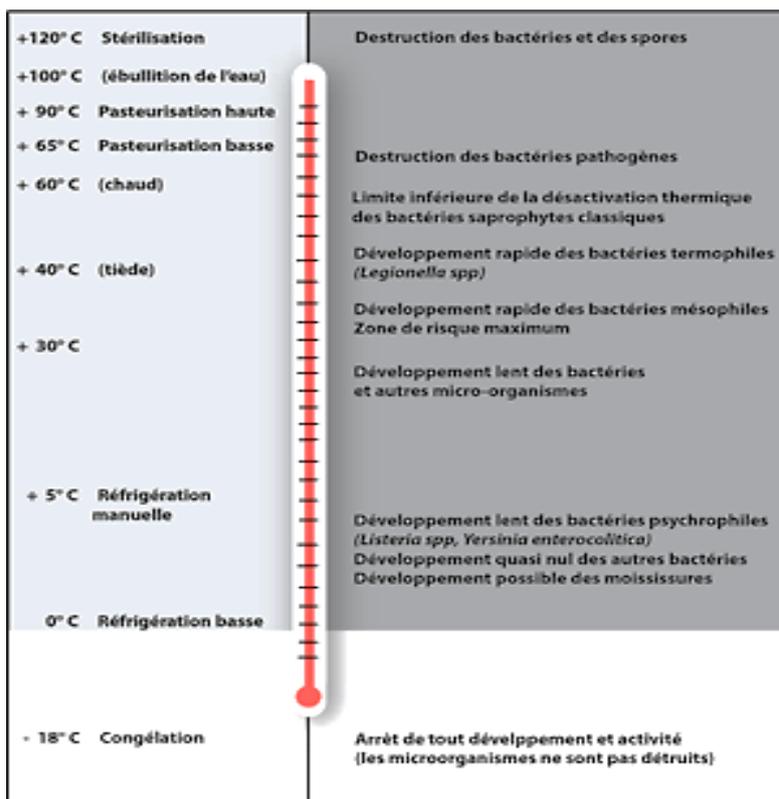
Filtre à tambour : filtration tangentielle

D'après : <http://www.spirule-fr.com> (2019)



<https://www.matevi-france.com> (2019)

Document 21 : Action de la température sur les microorganismes



D'après : Revue Biolinéaires-n°44-janvier-février 2013

Document 22 : Principe de la déshydratation

La déshydratation est une opération qui consiste à extraire l'eau libre d'un produit. Elle est réalisée par différentes techniques comme le séchage, l'évaporation ou encore la lyophilisation. Elle permet de diminuer l'activité de l'eau à des valeurs proches de 0.

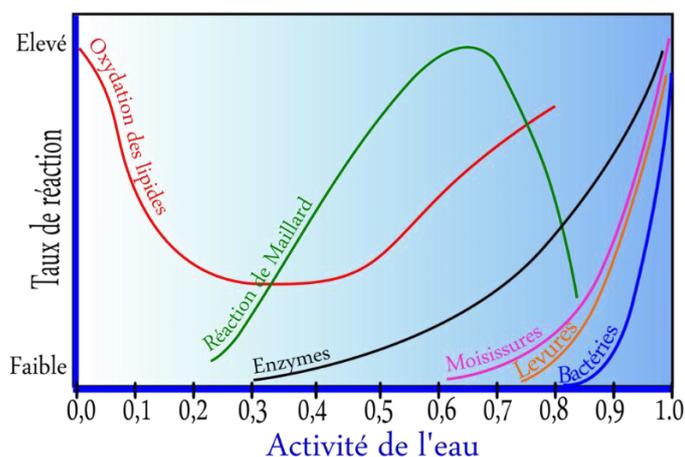
A_w désigne l'activité de l'eau (Activity Water).

Dans un produit alimentaire, on distingue :

- l'eau libre ;
- l'eau capillaire ou eau absorbée en surface, moyennement réactive ;
- l'eau liée ou eau de constitution, intimement liée aux composants biochimiques et ayant perdu toutes ses qualités réactives.

L' A_w estime la part de l'eau libre dans un produit, c'est à dire disponible.

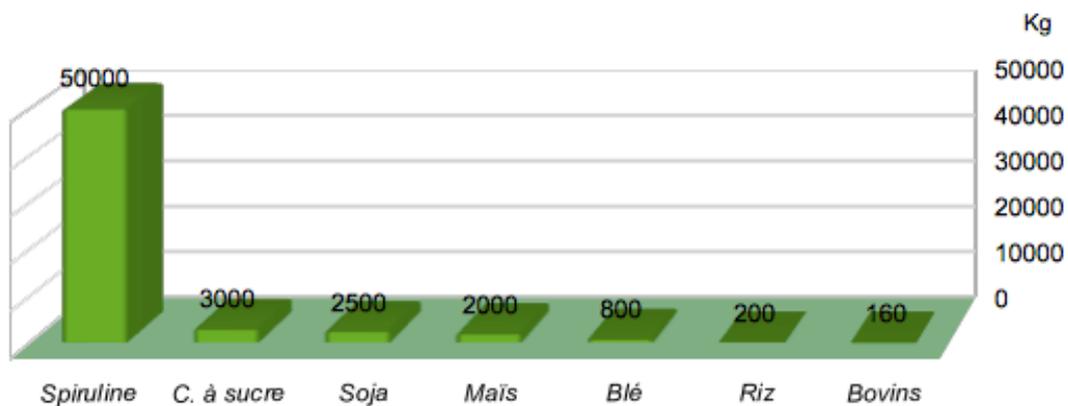
L' A_w de la spiruline séchée est inférieure à 0,5.



<http://www.syntilab.fr/pourquoi-mesurer-aw/> (2019)

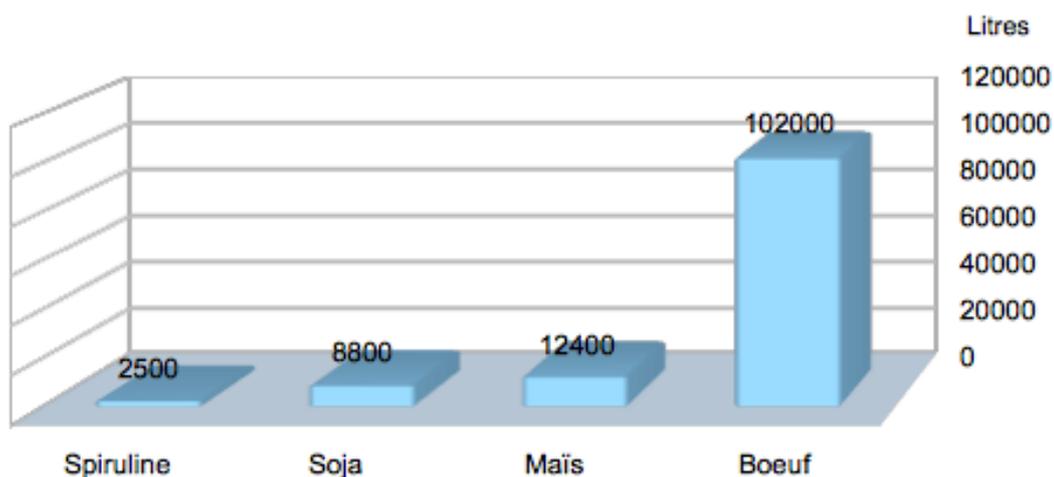
Document 23 : Avantages de la culture de spiruline

Rendement en protéine par hectare et par an :



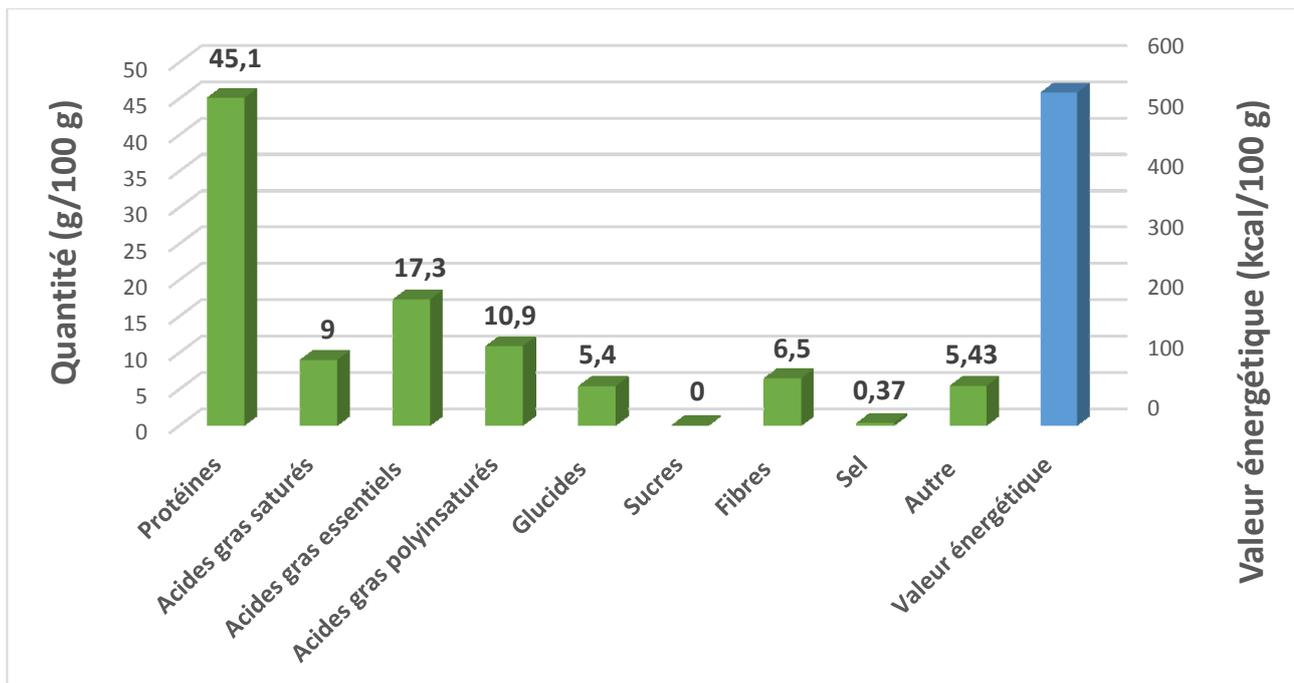
La Spiruline de Haute Saintonge : Trophée de la Haute Saintonge 2013
<https://www.spiruline-fr.com> (2019)

Quantité d'eau nécessaire à la production d'un kilo de protéines :



La Spiruline de Haute Saintonge : Trophée de la Haute Saintonge 2013
<https://www.spiruline-fr.com> (2019)

Document 24 : Composition nutritive et apport énergétique du ver de farine



Graphique réalisé par les auteurs à partir des données de :
<http://www.insectes-food.com/insectes-comestibles-europe/-/5-vers-de-farine.html> (2019)

Document 25 : Comparaison des valeurs nutritionnelles de différents aliments

| | Protéines | Lipides | Glucides | Eau | Kcal |
|------------------------|-----------|---------|----------|-----|------|
| Chenilles fraîches | 12 | 3 | 3 | 80 | 90 |
| Œuf cru | 12 | 10 | traces | 75 | 145 |
| Blanc de poulet cuit | 20 | 2 | traces | 70 | 120 |
| Bavette de bœuf crue | 18 | 3 | traces | 75 | 100 |
| Lieu noir cru | 18 | 1 | traces | 80 | 82 |
| Lait entier pasteurisé | 3 | 4 | 4 | 88 | 63 |

Comparaison des valeurs nutritionnelles des chenilles avec celles d'autres aliments riches en protéines (g pour 100 g de produit frais)

| | Protéines | Lipides | Glucides | Kcal |
|------------------------|-----------|---------|----------|------|
| Chenille fraîche | 60 | 15 | 15 | 450 |
| Œuf cru | 48 | 40 | traces | 580 |
| Blanc de poulet cuit | 67 | 7 | traces | 400 |
| Bavette de bœuf crue | 72 | 12 | traces | 400 |
| Lieu noir cru | 90 | 5 | traces | 410 |
| Lait entier pasteurisé | 25 | 33 | 33 | 525 |

Comparaison des valeurs nutritionnelles des chenilles avec celles d'autres aliments riches en protéines (g pour 100 g de produit sec)

INRA, « Mangerons-nous tous des insectes en 2050 ? » :
<https://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i169feillet.pdf>

UN GUIDE DES 20 ACIDES AMINÉS COMMUNS

CHEZ LES ORGANISMES VIVANTS, LES ACIDES AMINÉS FORMENT LES PROTÉINES. ON RETROUVE DANS LA NATURE PLUS DE 500 ACIDES AMINÉS; TOUTEFOIS, LE CODE GÉNÉTIQUE HUMAIN CODE DIRECTEMENT POUR 20 ACIDES AMINÉS.

Clé: ● ALIPHATIQUE ● AROMATIQUE ● ACIDE ● BASIQUE ● HYDROXYLIQUE ● SULFURIQUE ● AMIDIQUE ○ NON ESSENTIEL ○ ESSENTIEL

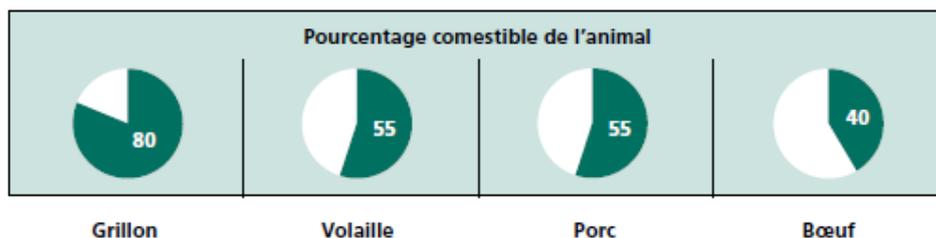
Adapté de : <https://studylibr.com/doc/1010550/les-20-acides-amin%C3%A9s---la-science-et-fiction-de-robert> (2019)

Document 27 : Teneur moyenne en acides aminés essentiels du ver de farine et de la viande de bœuf

| Acides aminés | <i>T. molitor</i> (g/kg de matière sèche) | Bœuf (g/kg de matière sèche) |
|-------------------|---|------------------------------|
| Essentiels | | |
| Isoleucine | 24,7 | 16 |
| Leucine | 52,2 | 42 |
| Lysine | 26,8 | 45 |
| Méthionine | 6,3 | 16 |
| Phénylalanine | 17,3 | 24 |
| Thréonine | 20,2 | 25 |
| Tryptophane | 3,9 | – |
| Valine | 28,9 | 20 |

FAO « Insectes comestibles : Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale » : <http://www.fao.org/3/a-i3253f.pdf>

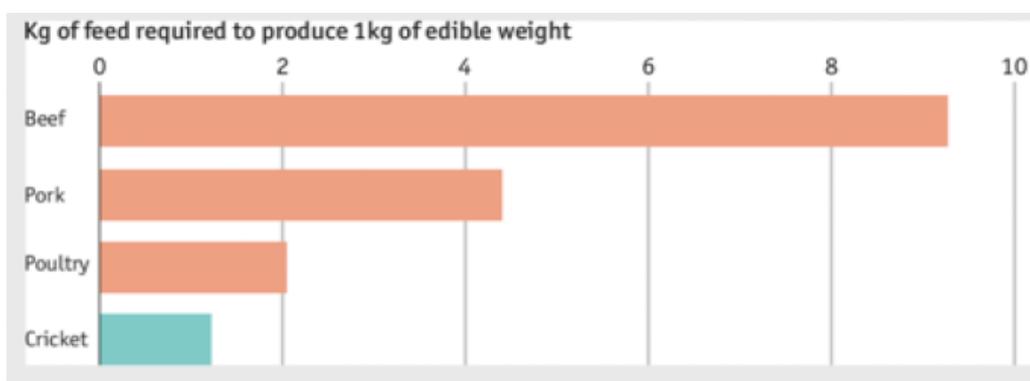
Document 28 : Pourcentage comestible de différents animaux



Adapté de : FAO « Insectes comestibles : Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale » : <http://www.fao.org/3/a-i3253f.pdf>

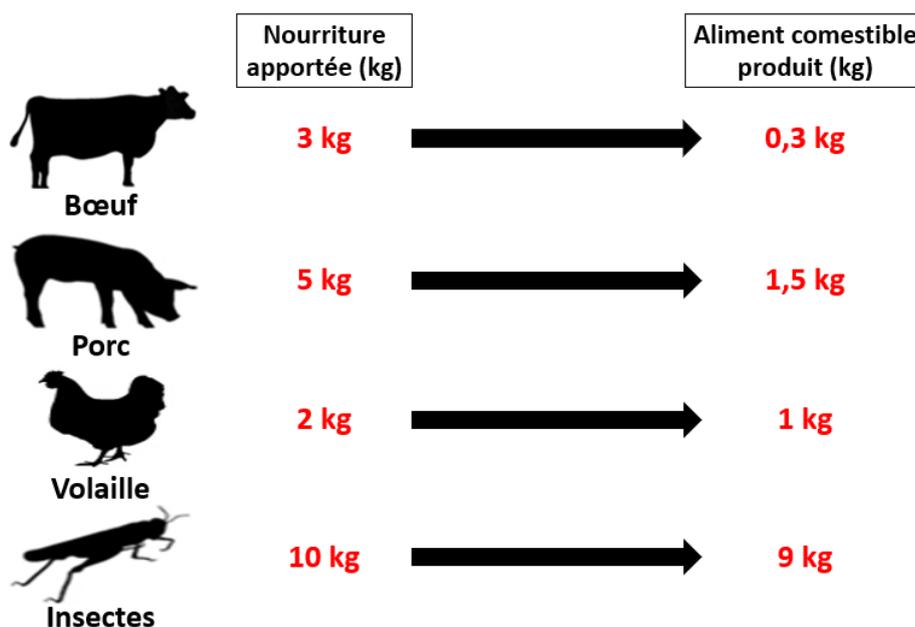
Document 29 : Taux de conversion pour la production de différents animaux

Taux de conversion exprimé en kilogramme de nourriture nécessaire pour produire 1 kilogramme d'aliment comestible :



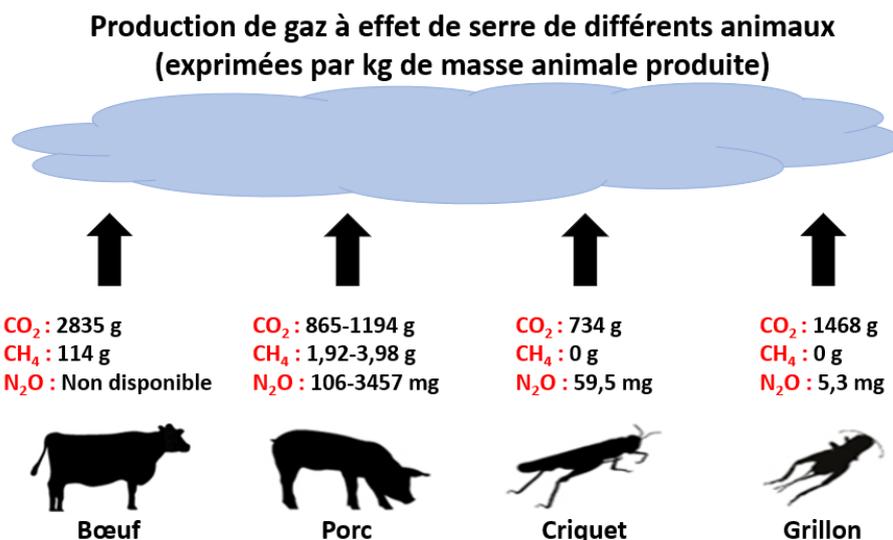
<http://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2013/05/daily-chart-11> (2019)

Taux de conversion exprimé en kilogramme d'aliment comestible produit pour X kilogrammes de nourriture apportée :



Document réalisé par les auteurs à partir de : <http://www.mangeons-des-insectes.com/pourquoi-manger-des-insectes> (2019)

Document 30 : Rejets de gaz à effet de serre de différents animaux



Document réalisé par les auteurs à partir des données de : Oonincx DGAB, van Itterbeeck J, Heetkamp MJW, van den Brand H, van Loon JJA, van Huis A (2010) An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. PLoS ONE 5(12): e14445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>