

Module: valorisation des sous produits agroalimentaires

Unité d'enseignement Découverte (UED 1)

Crédits : 2 Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement Cette matière est conçue pour mettre l'étudiant au courant de l'effet des sous produits des IAA sur le pouvoir polluant de l'environnement et ce fait, l'étudiant apprendra les méthodes de valorisation de ses sous produits et le moyen de rentabilisation

Connaissances préalables recommandées : L'appréhension de cette matière nécessite des connaissances sur la biochimie alimentaire, la microbiologie alimentaires et les TIAA

Présenté par Mr DAIRI Sofiane

Module: valorisation des sous produits agroalimentaires

Contenu de la matière

- Traitement et valorisation des eaux usées urbaines et industrielles
- Valorisation des sous produits de la transformation des fruits et légumes
- Valorisation des sous produits des fromageries
- Valorisation des sous produits des abattoirs
- Valorisation des sous produits des sucreries
- Valorisation des sous produits des meuneries
- Valorisation des sous produits de pêche
- Valorisation des sous produits des huileries
- Valorisation des sous produits des papeteries
- Autres : La biomasse végétale-Production de protéines d'organismes unicellulaires

Mode d'évaluation : Examen écrit

problématique



Bois



Coquillages



Grands os



Définition: Secteur agroalimentaire ?

Secteur agroalimentaire

Ensemble d'entreprise qui participent à la production de produits alimentaires finis.

Industrie agroalimentaire (IAA)

qui transforment des matières premières issues de l'agriculture, de l'élevage ou de la pêche en produits alimentaires destinés essentiellement à la consommation humaine.

Agriculture

élève les animaux, cultive les plantes et fournit les intrants à l'industrie agroalimentaire

Agro-industrie ? = produits alimentaires et non alimentaires (biocarburants, biomatériaux)



Les Industrie agroalimentaires ?

On distingue généralement plusieurs grandes familles d'activités dans l'industrie agroalimentaire :

1. Industrie de la [viande](#)
2. Fabrication de produits alimentaires élaborés
3. Fabrication de produits à base de [céréales](#)
4. Fabrication d'[huiles](#), de corps gras et de margarines
5. [Industrie sucrière](#)
6. Fabrication de produits alimentaires divers (champignons en boîte: lachine est le 1^{er} exportateur mondial)
7. Fabrication de boissons et alcool



- En [France](#), l'industrie agroalimentaire est le premier secteur d'activité en termes de [chiffre d'affaires](#)
- IAA= argent, économie, chômage
- IAA= sécurité alimentaire: satisfaire la demande en aliments dans le monde
- Le nombre IAA évoluent constamment

Les techniques de transformation et les formes d'activités les plus couramment utilisées dans IAA?

A. Réception et préparation des matières

- A.1 Manutention et stockage des matières
- A.2 Trier / cribler, calibrer, décortiquer, équeuter / égrapper et parer
- A.3 Peler
- A.4 Laver
- A.5 Décongeler

B. Réduction de taille, mixtion et formage

- B.1 Couper, découper en tranches, trancher, émincer, dépulper et presser
- B.2 Mixer / mélanger, homogénéiser et concher
- B.3 Broyer / moulin et écraser
- B.4 Former/mouler et extruder

C. Techniques de séparation

- C.1 Extraction
- C.2 Des ionisation
- C.3 Affinage
- C.4 Centrifugation et décantation
- C.5 Filtrage
- C.6 Séparation membranaire
- C.7 Cristallisation
- C.8 Enlèvement des acides gras libres (AGL) par neutralisation

D. Technologie de transformation des produits

- D.1 Trempage
- D.2 Dissolution
- D.3 Solubilisation / alcalisation
- D.4 Fermentation
- D.5 Coagulation
- D.6 Germination
- D.7 Saumurage / salaison et macération
- D.8 Fumage

Eaux usées, Déchets (pollutions)

IAA, pollution, environnement et réglementation ?

- De nouveaux décrets et lois pour lutter contre la pollution industrielle:

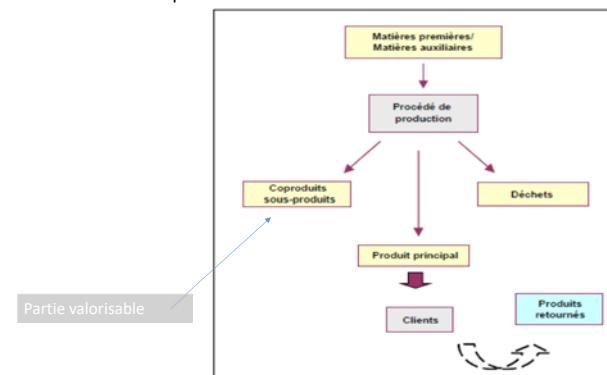
Chaque entreprise est responsable de ses déchets

- L'industriel est contraint de réduire ses déchets et de les éliminer avant leur rejet dans la nature
- L'élimination et les traitements des déchets sont chers : un coût pour l'entreprise
- L'industriel pose la question suivante: comment puis protéger l'environnement et tirer profits de mes déchets ? Comment valoriser mes déchets ?



IAA, pollution, environnement et réglementation ?

Le secteur agroalimentaire fait la distinction entre les produits principaux, les coproduits, les sous-produits, les produits retournés et les déchets. C'est le produit principal qui détient la plus grande valeur économique.



Quelques définitions ?

Un coproduit est un matériau intentionnellement et inévitablement créé au cours du même procédé et en même temps que le produit principal. Un produit principal et un coproduit, chacun d'eux est apte à une utilisation directe à des fins particulières.

Exemple:

- le gluten de blé, la farine de gluten de Maïs
- la pulpe de fruit, l'eau concentrée de fruit, les fibres de pommes de terre, les protéines de pommes de terre, l'eau de pomme de terre
- Coproduits de la fabrication du fromage : lactosérum (ou petit-lait)
- Coproduits de la production du sucré : pulpes de betterave, mélasse

Un sous-produit est un matériau résiduel apparu pendant la fabrication d'un produit. Il peut être utilisé lui-même à titre de substitut effectif d'un produit ou peut servir d'ingrédient dans un autre procédé de fabrication pour créer un produit différent, par exemple les boues et résidus issus de la filtration.

Les produits retournés sont les produits renvoyés par les détaillants et grossistes faute de ne pas se conformer aux spécifications ou parce que leur durée de conservation a expiré.

Entre produit et sous produit: question d'objectif

Figues de barbarie



Industrie de production d'une huile de cactus
Produit: graines (pépins)

Valorisation des sous produits alimentaires

Définition

- Par valorisation, on entend toute **transformation de résidus** ou de **sous-produits industriels alimentaires** en vue de **les réintroduire** sur le marché à titre de **nouveaux ingrédients** ou comme **nouveaux produits**.
- La valorisation de sous-produits et de résidus agroalimentaires représente **une option économique attrayante** pour les entreprises, puisqu'elle permet de **réduire ou éliminer leurs coûts** de disposition des résidus, tout en générant un **deuxième revenu**.



Exemples d'entreprise: [Cintech agroalimentaire](#), [prorec](#)

Traitements et valorisation des eaux usées

De l'eau domestique à l'eau usée ?

Définition:

- Les **eaux usées**, aussi appelées « effluents liquides » ou « **eaux polluées** », sont constituées de toutes les eaux de nature à contaminer les milieux dans lesquels elles sont déversées.
- Ces eaux sont généralement formées du sous-produit d'une utilisation humaine, soit domestique, soit industrielle, d'où l'usage de l'expression « eaux usées ».

Utilisation domestique de l'eau

- Hygiène
- Lavage

Utilisation industrielle de l'eau

- refroidir et nettoyer
- En tant que matière première, spécialement dans l'industrie des boissons
- En tant qu'eau processuelle, par exemple pour laver les matières premières, intermédiaires et les produits
- A cuire, à dissoudre ...

Quelques données sur la consommation en eau ?

- ✓ Besoin constant en eau
- ✓ Ressource en eau devient un enjeu majeur à l'avenir

Tableau 6 - Comparaison des usages de l'eau entre continents

Continent	Usage		
	Domestique (%)	Industriel (%)	Agricole (%)
Afrique	7	5	88
Europe	13	54	33
Asie	6	8	86
Monde	10	20 (1)	70

(1) Industriel : 14 % production d'énergie + 6 % industrie.
Attention, le même m³ d'eau peut être utilisé plusieurs fois après un traitement approprié ; en particulier, les eaux de refroidissement des centrales sont quasi intégralement restituées aux rivières (sauf un peu d'évaporation) avec seulement une augmentation de température de quelques degrés.

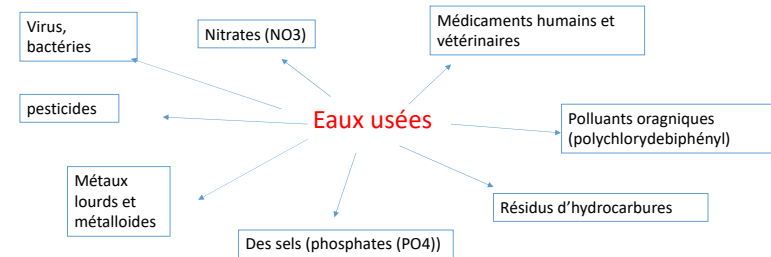
Tableau 7 - Évolution de la demande en eau à l'échelle mondiale

Répartition des besoins mondiaux en eau	1900	2000	2025 (prévisions)
Agriculture.....(km ³)		2 700	3 200
Industrie.....(km ³)		800	1 100
Domestique.....(km ³)		400	700
Total.....(km ³)	580	3 900	5 000
Population.....(milliards d'habitants)	1,6	6,2	7,9
.....m ³ /an/habitant	359	633	652

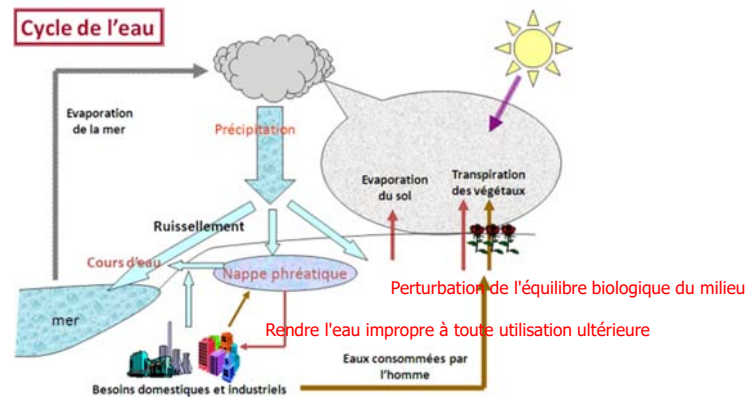
Rationaliser la consommation d'eau
Traiter les eaux usées et les réutiliser....

Les constituants présents dans les eaux usées ?

- Les eaux usées peuvent contenir des polluants ou produits indésirables, que l'épuration de l'eau cherchera à biodégrader réduire et/ou éliminer.



Cycle de l'eau et contamination de la nappe phréatique ?



Indicateurs de la qualité d'eau ?

Les indicateurs de qualité les plus courants sont : DCO, DBO₅ et MES

La demande biologique en oxygène (DBO₅) : La **demande biochimique en oxygène** (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques (biodégradables) par voie biologique (oxydation des matières organiques biodégradables par des bactéries).

- Elle permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées.
- Elle est en général calculée au bout de 5 jours à 20 °C et dans le noir. On parle alors de **DBO₅**.

Indicateurs de la qualité d'eau ?

la demande chimique en oxygène (DCO): La demande chimique en oxygène (DCO) est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées.

- La DCO est une des mesures principales des effluents pour les normes de rejet. Elle est beaucoup utilisée en France. La réglementation en particulier l'arrêté ministériel du 2/2/1998 précise que la valeur soit de plafonnée lors d'un rejet dans le milieu naturel à 300 mg/l (si le flux est inférieur à 100 kg/j) et à 125 mg/l quand le flux est supérieur à 100 kg/j.

$$\text{Biodégradabilité} = \frac{\text{DCO}}{\text{DBO}_5}$$

Si ce rapport est inférieur à 2,5, l'effluent sera considéré comme biodégradable, sinon il sera en partie réfractaire aux procédés d'épuration biologique.

Indicateurs de la qualité d'eau ?

la demande chimique en oxygène (DCO): La demande chimique en oxygène (DCO) est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées.

- La DCO est une des mesures principales des effluents pour les normes de rejet. Elle est beaucoup utilisée en France. La réglementation des ICPE en particulier l'arrêté ministériel du 2/2/1998 précise que la valeur soit de plafonnée lors d'un rejet dans le milieu naturel à 300 mg/l (si le flux est inférieur à 100 kg/j) et à 125 mg/l quand le flux est supérieur à 100 kg/j.

les matières en suspension (MES): La notion de **matière en suspension** (ou **MES**) désigne l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes dans un liquide. Plus une eau en contient, plus elle est dite turbide.

N.B. Ces paramètres sont mesurés dans les eaux usées en entrée de traitement ainsi que sur les eaux après traitement. Leurs abattements nous donnent le rendement de l'épuration des eaux.

Indicateur de la qualité d'eau ?

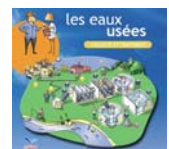
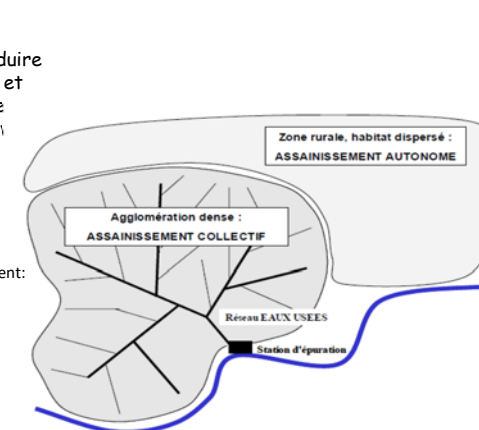
Cas d'analyse une eau usée

Type	unité	réseau d'assainissement	milieu naturel
DBO5	mg/l	800	30 – 100
DCO	mg/l	2000	125 – 300
MES	mg/l	600	35 – 150
CrVI	mg/l	0,1	0,1
CrIII	mg/l	0,5	0,5
Hg	mg/l	0,05	0,05
Cd	mg/l	0,2	0,2
Cyanures	mg/l	0,1	0,1
N total	mg/l	150	10-30
HC totaux	mg/l	10	10
...			

Procédé de traitements des eaux usées urbaines et industrielles ?

Traiter une eau : réduire sa toxicité chimique et biologique aux normes réglementaires à leur rejet ou leur réutilisation.

- Type d'assainissement: intensité du rejet



LES STATIONS D'EPURATION ET LES PROCEDES DE TRAITEMENT

Une station d'épuration se compose de plusieurs étapes de traitement que nous regroupons en trois catégories

- **la chaîne de traitement de l'eau** : elle regroupe la chaîne des procédés qui dépolluent l'eau usée,
- **la chaîne de traitement des boues** : elle conditionne les boues en vue de leur élimination et de leur valorisation éventuelle,

Traitement des eaux usées

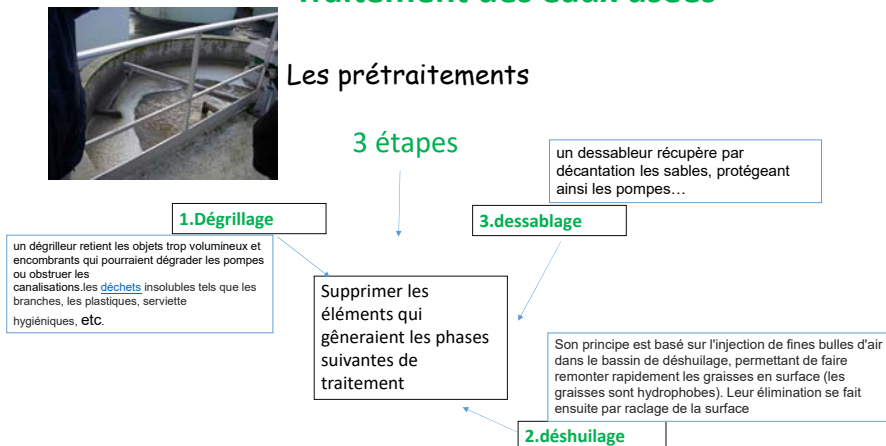
La dépollution des eaux usées se décompose en quatre étapes :

- Les prétraitements
- Le traitement primaire
- Le traitement secondaire
- Le traitement tertiaire

Traitement des eaux usées

Les prétraitements

3 étapes



L'eau usée continue son voyage...

Traitement des eaux usées

Traitement primaire

Traitement primaire=simple décantation dans des bassins

- Éliminer les matières en suspension (environ 60%)
- Réduire environ 30 % de la [demande biologique en oxygène \(DBO\)](#) et 30 % de la [demande chimique en oxygène \(DCO\)](#).

Le traitement primaire des eaux usées domestiques tend à disparaître en France avec la généralisation du traitement secondaire à [boues activées](#) qui comporte déjà une étape de décantation.

Formation de boues primaires

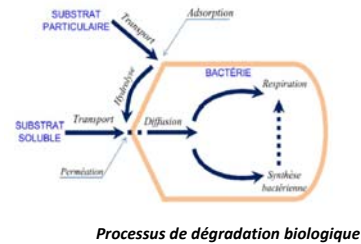
Chaîne d'épuration des boues



L'eau usée continue son voyage...

Traitement des eaux usées Traitement secondaire

- traitement secondaire se fait le plus couramment par voie biologique
- consiste à éliminer les composés organiques tels que sucres, graisses et protéines
- Consiste à éliminer la pollution phosphorée et azotés
- Les bactéries responsables de la dégradation des composés organiques sont hétérotrophes.
- Pour accélérer la dégradation des composés organiques, il faut apporter artificiellement de l'oxygène dans les eaux usées= **aération**



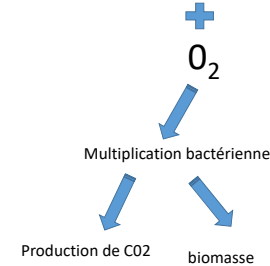
L'eau usée continue son voyage...

Traitement des eaux usées Traitement secondaire

1. Traitement de la pollution carbonée

Substances organiques → Digestion par des bactéries aérobies

Molécules simples source d'énergie)



➤ DBO et DCO

➤ Il faut maintenir un bon équilibre entre la pollution organique et la biomasse

Charge massique/volumique= charge de la pollution (DBO ou DCO)/concentration de la biomasse

Charge faible est conseillée:

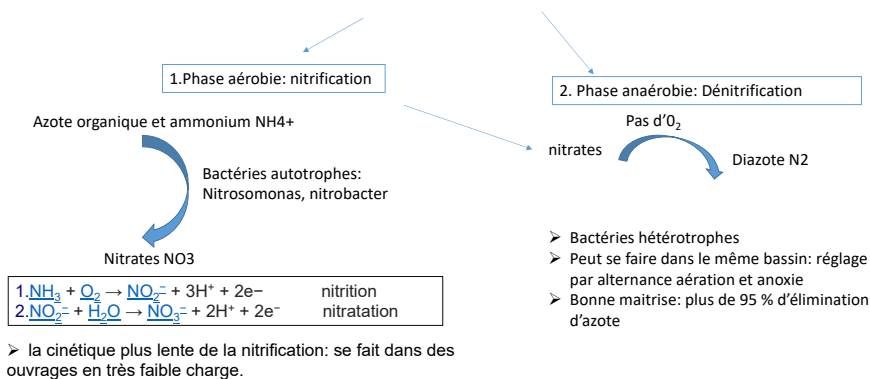
0,07 < C_m < 0,15

0,4 < C_v < 0,7

L'eau usée continue son voyage...

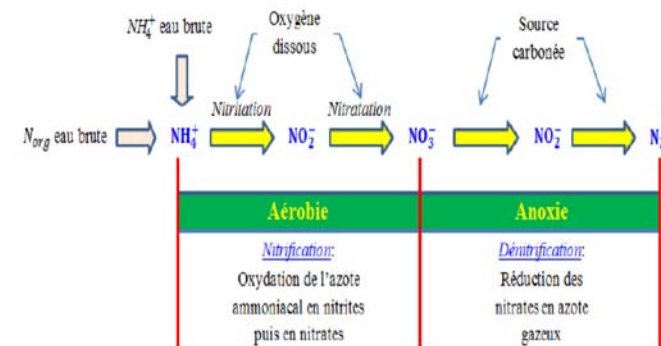
Traitement des eaux usées Traitement secondaire

2. Traitement de la pollution azotée



Traitement des eaux usées Traitement secondaire

2. Traitement de la pollution azotée



Traitement des eaux usées Traitement secondaire

3. Traitement de la pollution phosphorée: déphosphatation

- La seule voie d'élimination du phosphore consiste à le concentrer dans les boues

biologique

chimique

Phosphore est sous forme

Minérale

- Les sels d'acide orthophosphorique (H_3PO_4) pouvant s'ioniser en $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} selon le PH
- les polyphosphates.

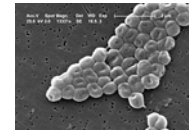
organique

- Le phosphore organique est présent dans les acides nucléiques (ADN,ARN), l'ATP et les phosphoprotéines.

Traitement des eaux usées Traitement secondaire

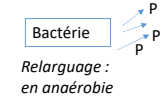
3. Traitement de la pollution phosphorée: déphosphatation

A. Voie biologique

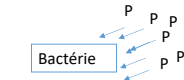


Bactérie
(acinetobacter)

Stress continu
Aérobie/anaérobie



Relargage :
en anaérobie



Assimilation (bioaccumulation) :
en aérobie

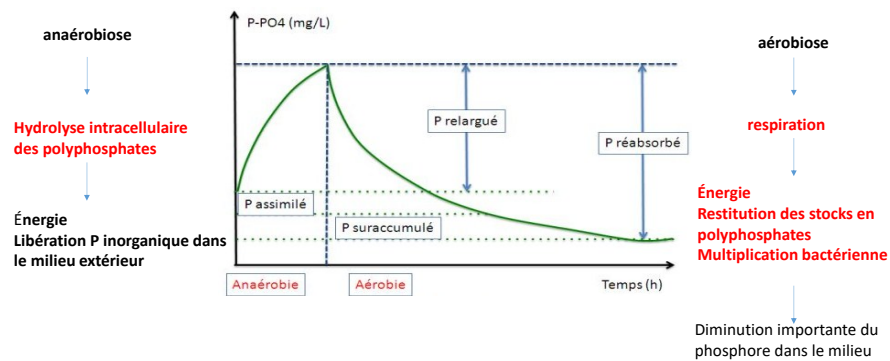
Forte réassimilation

- Nécessite des bactéries déphosphatantes PAOs (« phosphorus accumulating organisms »)
- Stockage sous forme de polyphosphates
- Élimination: 60-70%
- Nécessite des réglages délicats

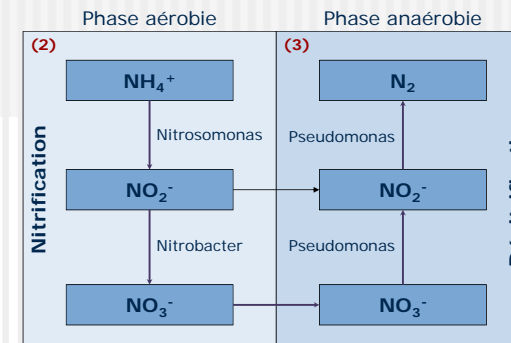
Traitement des eaux usées Traitement secondaire

3. Traitement de la pollution phosphorée: déphosphatation

A. Voie biologique

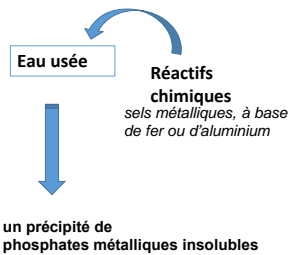


Traitement des eaux usées



Traitement des eaux usées Traitement secondaire

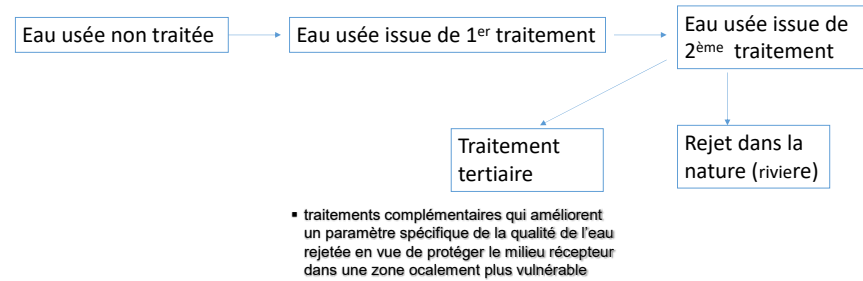
3. Traitement de la pollution phosphorée: déphosphatation B. Voie chimique



Exemple: $\text{FeCl}_3 + \text{NaH}_2\text{PO}_4 \rightarrow \text{FePO}_4 + \text{NaCl} + 2\text{HCl}$

- Le traitement chimique est fiable et permet d'atteindre des **rendements d'élimination supérieurs à 85 %** et des concentrations en phosphore total de **1 à 2 mg/L**.
- Cette technique nécessite toutefois des consommations importantes en réactifs chimiques
- Traitement mixte: bio et chimique

Traitement des eaux usées Traitement tertiaire



Traitement des eaux usées Traitement tertiaire

Exemple

désinfection

Traitements de finition

Traitement sur charbon actif

- Eaux usées jetées dans les plages
- Risque de contamination humain
- Eliminer la flore pathogène
- Moyens:
 - chloration, irradiation UV, ozonation

- Réduire au max les MES, DCO, DBO
- Moyens
 - filtration sur sable (réduit les MES)

- Elimine les substances résistantes au traitement biologiques
- Permet de réduire la couleur des effluents

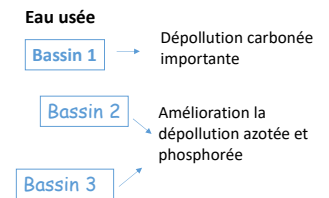
Traitement des eaux usées Traitement secondaire

Les principales technologies utilisées ?

a. lagunage

principe: épuration naturelle des eaux usées (bactérie et algues)

- Pas de consommation d'énergie
- Rendement suffisant (60-80 % pollution carbonée; 60 % P. phosphorée et azotée)
- Les effluents dilués (300 mg DBO/L)
- Se fait dans plusieurs bassins
- Nécessite une surface importante
- Nécessite bcp du temps



Les principales technologies utilisées (en traitement secondaire)?

b. Procédé de traitement par boues activées

➤ L'un des procédé les plus utilisés

➤ Le procédé à boues activées fait appel à un traitement biologique. Il a quatre objectifs

- éliminer la pollution carbonée (matières organiques) ;
- éliminer une partie de la pollution azotée ;
- fixer le phosphore dans la matière décantée ;

➤ Ce traitement est généralement mis en oeuvre dans un bassin à boues activées qui est un réacteur biologique, alimenté en continu et aéré

- Aération en surface par des turbines
- dans le fond par des procédés de rampe de distribution de bulles d'air

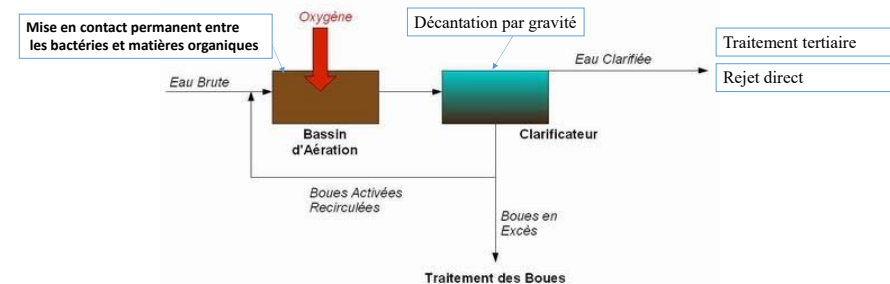
Boue activée= culture bactérienne=biomasse

Traitement des eaux usées Traitement secondaire

Les principales technologies utilisées ?

b. Procédé de traitement par boues activées

principe:



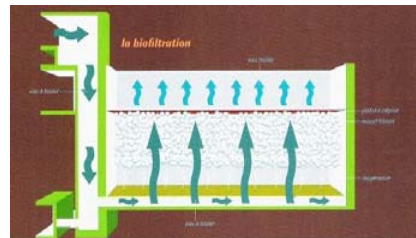
Traitement des eaux usées Traitement secondaire

Les principales technologies utilisées ?

C. Bio filtration

principe: utilisation d'un biofiltres (billes de polysterne)

- Procédé à cultures fixées: bactéries fixées sur les billes et formation d'un biofilm compact
- Double action
 - dépollution carbonée, azotée et phosphorée
 - filtration de l'eau
- Oxygénation (distribution d'air)
- consomme bcp d'énergie



Traitement des eaux usées

Les principales technologies utilisées ?

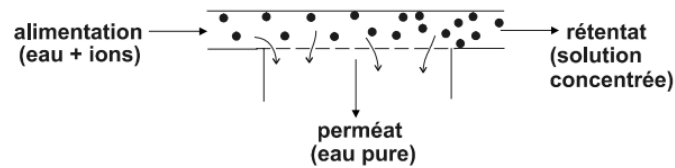
D. Osmose inverse

- Une membrane semi-sélective: est une membrane permettant certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autres ou plus généralement en favorisant certains par rapport à d'autres.
- L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression. L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes:
 - une partie (débit Q_p) passe à travers la membrane (perméat)
 - une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat ou rétentat) et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.

Traitement des eaux usées

Les principales technologies utilisées ?

D. Osmose inverse

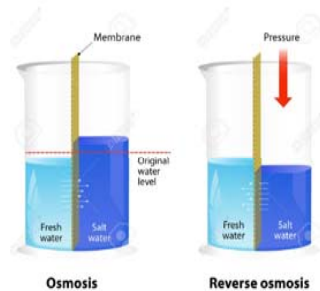
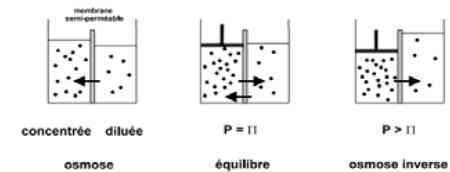


D. Osmose inverse

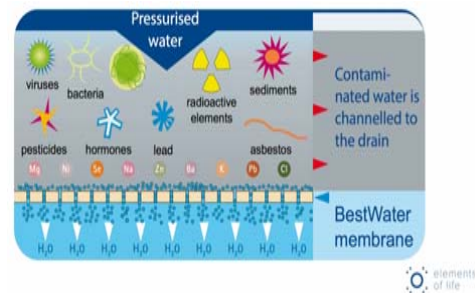
PRINCIPES DE L'OSMOSE INVERSE

1/ Pression osmotique: L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée.

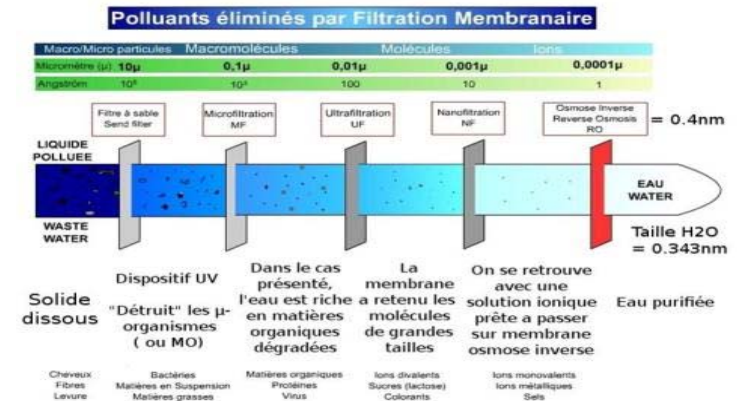
Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler: cette pression est nommée la pression osmotique P (en faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure). Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique: c'est le phénomène d'**osmose inverse**.



A retenir



A retenir



Valorisation et utilisation des eaux usées

Eau usée (domestique et industrielles)

Eau usée traitée

l'irrigation (agriculture, forêts, parcs publics, espaces verts, terrains de sport)

Le refroidissement de procédés industriels

la recharge de nappes souterraines

production d'eau potable. Par exemple, l'Espagne réutilise aujourd'hui 17% de l'eau usée traitée et prévoit d'atteindre 50% de réutilisation

Valorisation et utilisation des eaux usées Cas de l'Algérie

Tableau 1 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (*)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.

- de 2 milliards de m³
- 134 stations d'épuration (STEP et lagunes)
- La réutilisation agricole

Les différentes techniques ou voies de valorisation des sous produits AA

Différentes voies de valorisation sont possibles:

- La valorisation en **alimentation animale** (directement ou après transformation)
- La valorisation **agronomique** : l'épandage, le compostage...
- La valorisation **énergétique** : la combustion, l'incinération, avec récupération d'énergie, la méthanisation,
- Les autres voies de valorisation : l'oléochimie, l'extraction de **molécules**, **les matériaux**...
- Fermentation et biotransformation

Ces **voies de valorisation** doit répondre à une **réglementation** précise

Les différentes techniques ou voies de valorisation des sous produits AA

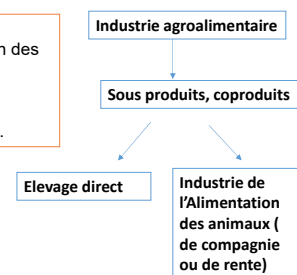
1. Valorisation en alimentation humaine

- La valorisation en alimentation animale : utiliser les coproduits issus de l'industrie agroalimentaire comme matières premières pour l'alimentation des animaux de rente (bovins, porcs, volailles...) et de compagnie (chiens, chats...).
- La réglementation est différente suivant les matières premières utilisées.

- La valorisation **directement en élevage**: concerne essentiellement les produits humides et semi-humides (Pulpes de betterave)

- ces produits ont une durée de conservation réduite et sont coûteux à transporter

- ils sont donc valorisés préférentiellement de manière locale c'est à dire dans les élevages à proximité.



Les différentes techniques ou voies de valorisation des sous produits AA

2. Valorisation agricole

Valorisation agricole = retour au sol

Cette voie regroupe :

- L'épandage direct avec pas ou peu de transformation
- Le compostage ou d'autres modes de transformation comme le chaulage,
- La fabrication d'engrais et d'amendements organiques.

2. Valorisation agricole a. Epandage

Technologie

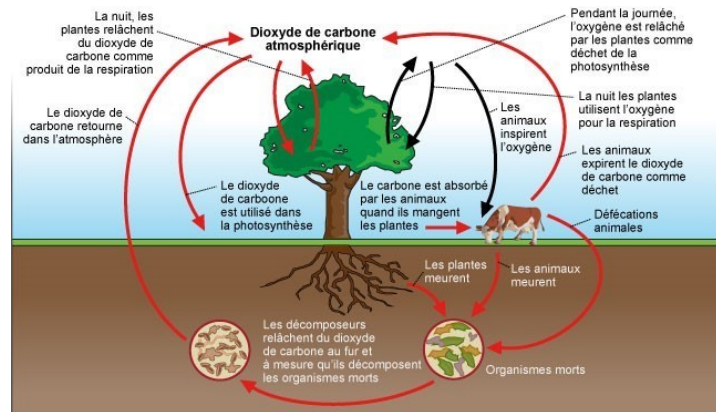
L'épandage est le retour au sol d'effluents, de boues et de matières organiques susceptibles d'être dégradées biologiquement, dans le but d'être épurés par la flore endogène des sols.

Cette voie de valorisation présente un intérêt double :

- Permettre de mettre à profit les **capacités biologiques** des sols pour dégrader les matières organiques: les constituants entre dans les cycles naturels
- Utiliser les éléments fertilisants contenus dans les matières épandues pour assurer une part de la **fertilisation des cultures**



Un sol bien aéré et biologiquement actif : peut épurer 1 tonne de matières organiques par hectare et par jour à une température supérieure à 15°C



2. Valorisation agricole b. compostage

- Le compostage est le processus de transformation biologique de matières organiques (déchets végétaux, restes de repas, déjections,...) en conditions d'aération permettant de produire un compost utilisable en agriculture en tant qu'amendement organique.



Déchets verts

Dégradation biologique (bactéries, champignons, vers)

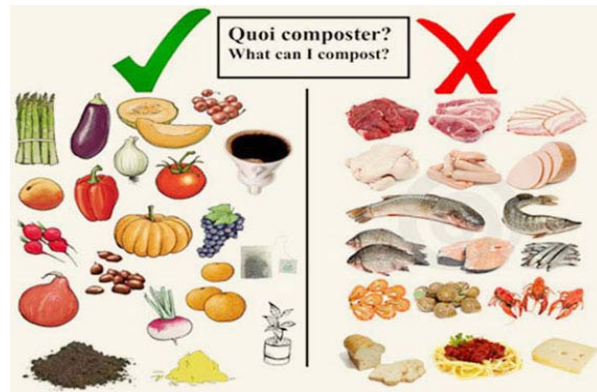


compost

Utilisation agricole (engrais organique)

	Matière sèche	Matière organique	Azote (N) total	Phosphore (P ₂ O ₅)	Potassium (K ₂ O)
Compost	330	210	8	5	14
Fumier*	180 à 220	150 à 180	5 à 6	1,7 à 2,3	6 à 9,5

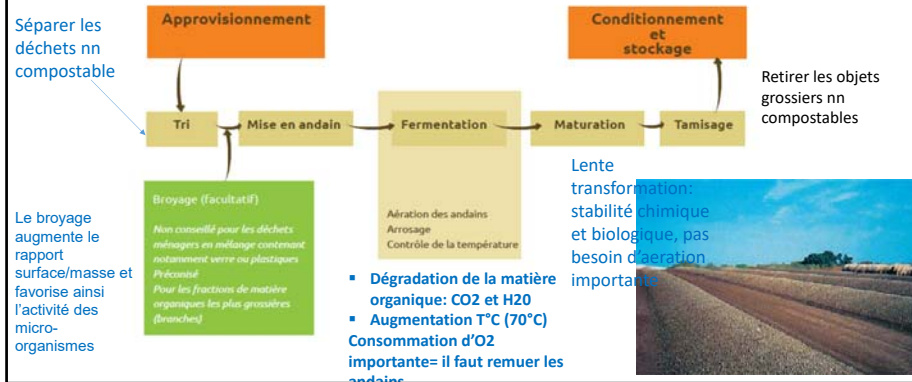
2. Valorisation agricole a. compostage



2. Valorisation agricole b. compostage Les étapes de compostage

- La transformation de la matière organique en compost nécessite trois éléments :
 - des nutriments carbonés et azotés
 - une humidité relative spécifique
 - une aération adéquate.
- Lors d'un compostage, il faut différencier **deux phases bien distinctes** : la première, la phase de dégradation de la matière organique en compost frais sous l'action des bactéries, puis la seconde, la phase de maturation du compost frais en compost mûr sous l'action de champignons.

2. Valorisation agricole b. compostage Les étapes de compostage



Les étapes de compostage

la phase mésophile (A) est la phase initiale du compostage.

Les matières premières sont envahies par les micro-organismes mésophiles (bactéries et champignons essentiellement)

absorbant les molécules simples (sucres simples, acides aminés, alcools...) et transformant une partie des polymères (protéines, acides nucléiques, amidon, pectines, hémicellulose, cellulose...).

une montée en température (de $10-15^\circ\text{C}$ à $30-40^\circ\text{C}$), un dégagement important de CO_2 (d'où la diminution du rapport C/N) ainsi qu'une acidification.

La dégradation de la cellulose durant cette phase est responsable de plus de 75 % de la perte de poids sec.

Les étapes de compostage

la phase thermophile (B) est atteinte

- au centre du tas, à des températures élevées (de l'ordre de 60 à 70 °C pour les composts agricoles), auxquelles ne résistent que des micro-organismes thermotolérants ou thermophiles (arrêt de l'activité des champignons,
- développement des actinomycètes et des bactéries thermophiles
- Les pertes en azote, minéralisé sous forme ammoniacale (NH_4^+), qui peut être volatilisé sous forme d'ammoniac (NH_3) dans certaines conditions, ainsi que l'évaporation d'eau, sont plus importantes au cours de cette phase. La libération de CO_2 peut entraîner, à la fin des phases thermophiles, jusqu'à 50 % de perte en poids sec.
- Les matières situées en bordure de tas doivent être reprises par un ou deux retournements. Après un retournement, on observe la succession des 3 phases précédentes
- Cette technique permet de s'assurer que tous les éléments du tas subissent les différentes phases du compostage afin que le produit final soit homogène et entièrement assaini.

Les étapes de compostage

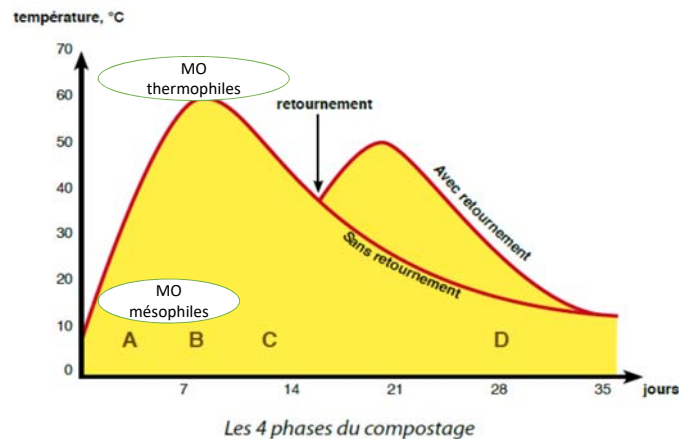
la phase de refroidissement (C):

- est la phase intermédiaire entre la phase thermophile et la phase de maturation.
- Elle prend fin avec le retour à la température ambiante.
- Le milieu est colonisé de nouveau par des micro-organismes mésophiles. Ils dégradent les polymères restés intacts en phase thermophile

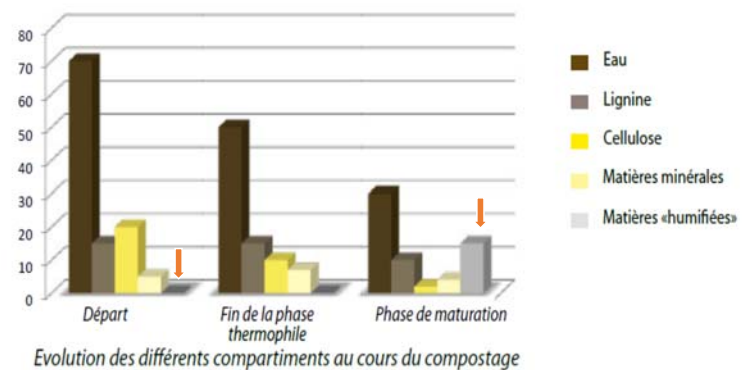
la phase de maturation (D)

- présente peu d'activité microbiologique (recolonisation par des champignons) mais est adaptée à la colonisation par la macrofaune, en particulier les lombrics lorsque ceux-ci sont présents dans l'environnement du tas.
- Les matières organiques sont stabilisées et humifiées par rapport aux matières premières mises à composter. Le pH s'équilibre vers la neutralité.

Les étapes de compostage



Les étapes de compostage



2. Valorisation agricole c. fabrication d'engrais

La fertilisation a pour objectif de maintenir ou d'accroître la richesse d'une terre en éléments organiques et minéraux:



meilleure croissance des plantes

3. Valorisation énergétique

➤ L'expression valorisation énergétique :

- **recupérer et valoriser** l'énergie produite lors du **traitement des déchets** par différents biais, parmi lesquels la **combustion** ou encore la méthanisation.

➤ L'énergie produite est ensuite utilisée sous forme de **chaleur ou d'électricité**

3. Valorisation énergétique

1- Incinération ou combustion

La combustion est une réaction chimique exothermique, c'est-à-dire accompagnée d'une production d'énergie sous forme calorifique qui peut être récupérée.

Sous produits ou déchets alimentaires

Combustion

Élimination des déchets
sans récupération d'énergie

Élimination des déchets
Avec récupération d'énergie

(Énergie = chaleur)

- Les graisses sont exploitées: un pouvoir calorifique élevé
- L'énergie récupérée est utilisée pour diverses applications industrielles: :
 - Production de vapeur très utilisée en transformation des produits animaux,
 - Chauffage de locaux

3. Valorisation énergétique

Méthanisation

3ème séance du 18/10/2016

La **méthanisation** = digestion anaérobie = un processus naturel biologique de dégradation de la **matière organique** en absence d'oxygène (**anaérobie**)

Agents responsables ?
microorganismes anaérobies stricts

Procédé permettant de valoriser la matière organique en produisant

Energie renouvelable (le biogaz) :
production de chaleur, électricité

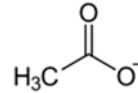
Digestat:
valorisé comme fertilisant.

3.Valorisation énergétique

3eme séance du 18/10/2016

Méthanisation

Quelques définitions ?



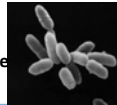
1. L'**acidogenèse** est un type de **digestion**.
➢ C'est l'un des plus rapides dans le type **anaérobie**.

les **acides aminés**, les **sucres** et les **graisses**

acides organiques,
alcool, H₂, CO₂

2. **Acétogenèse**: Cette phase consiste en la production d'**acétate**, un des précurseurs directs du **méthane**.

Archaea: archéobactérie

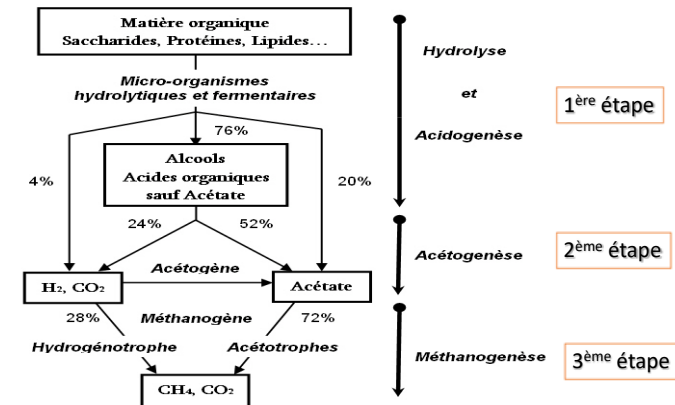


3. **Méthanogenèse**: Cette phase consiste en la production de méthane.
Deux types: $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
 $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

3.Valorisation énergétique

3eme séance du 18/10/2016

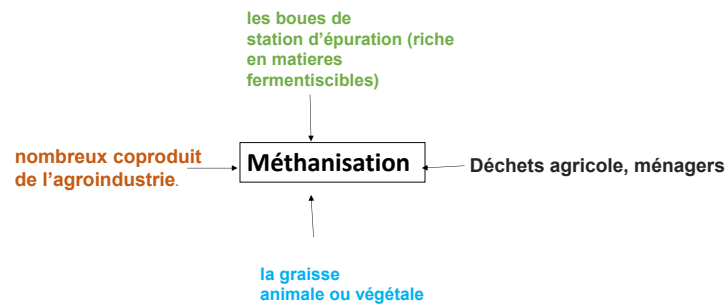
Méthanisation



3.Valorisation énergétique

Méthanisation

Quels sont les produits qu'on peut méthaniser ?



3.Valorisation énergétique

Méthanisation

Comment valoriser le biogaz récupéré ?

Le biogaz trouve différentes voies de valorisation :

- **produire à la fois** de l'électricité et de la chaleur à partir du biogaz.
- La production d'eau grâce à une **chaudière à gaz**.
- La production d'**air chaud pour le séchage** des produits agricole (Ex : séchage des céréales, des pulpes)
- le **chauffage** des bâtiments...
- Le biogaz comme **carburant automobile** (d'importants investissements en raison de la complexité de la technologie mise en œuvre)
- Le biogaz pourrait être injecté dans le **réseau de gaz naturel**. Cependant ceci n'est pas autorisé en France contrairement à l'Allemagne et à la Suisse.

3. Valorisation énergétique

Méthanisation: Quel impact sur l'environnement ?

Le procédé de méthanisation permet:

- une réduction des **volumes de matières organiques** (jusqu'à **90 % de réduction**) + une **production réduite de boues** (épandage pour le reste)
- **Le biogaz** est une énergie renouvelable qui peut se substituer aux énergies fossiles, ce qui permet une réduction des émissions de gaz à effet de serre.

= La méthanisation a un impact environnemental globalement positif.

3.d'autres voies de valorisation

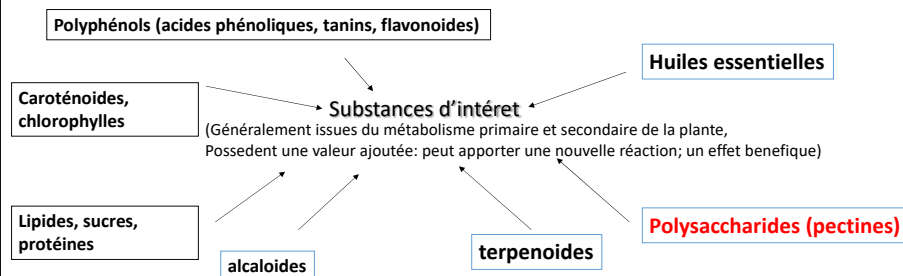
D'autres voies de valorisation considérées

- comme « **mineures** » peuvent être la destination des coproduits de l'agro-industrie.
- Ces valorisations nécessitent **en général un fort investissement en recherche** et développement

Deux voies principales

1. Extraction de composés d'intérêts (substances bioactives)
2. Oléochimie

3.d'autres voies de valorisation Extraction des substances d'intérêt



Extraction des substances d'intérêt

Extraction : définition ?

Extraction: Une extraction est un procédé qui permet d'obtenir une espèce chimique à partir d'une substance naturelle qui la contient: transfert de la matière

Tout processus d'extraction est résidé sur la différence de solubilité des substances d'un mélange dans un solvant

Types d'extraction:

1. extraction conventionnelle

- macération,
- agitation mécanique
- décoction
- soxhlet

2. Extraction modernes (innovantes)

- l'extraction assistée par micro-onde,
- extraction assistée par ultrason,
- accélérée par solvant,
- fluide supercritique.

Extraction des substances d'intérêt

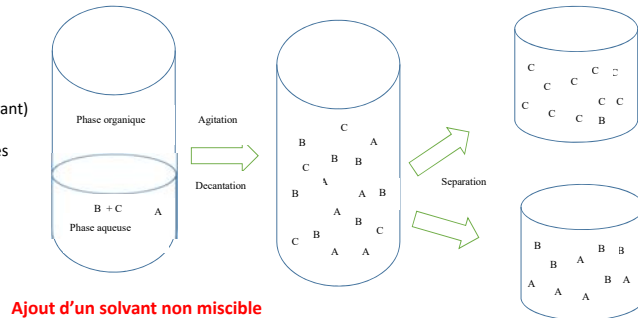
Extraction: techniques?

L'extraction liquide/liquide:

➤ Échantillon: liquide, Solvant: liquide

➤ Basé sur la différence de solubilité (affinité pour le solvant)

➤ Séparation des deux phases par différence de densité

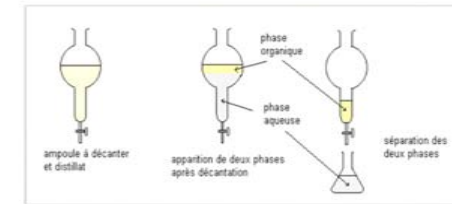


Extraction des substances d'intérêt

Extraction: techniques?

L'extraction liquide/liquide:

E.1 . Extraction liquide/liquide



4- schéma descriptif de l'extraction liquide/liquide, cours de chimie analytique, Dr Hugo Marcel, département de pharmacie, faculté de Lille

Extraction: techniques?

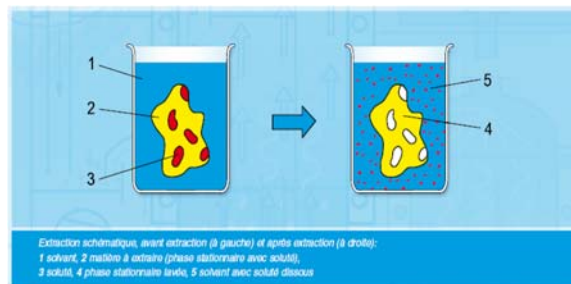
L'extraction solide/liquide:

➤ Échantillon: solide, Solvant: liquide

- L'extraction solide - liquide permet d'extraire par **solubilisation** les **composants solubles de matières solides** à l'aide d'un solvant

➤ Basé sur la différence de solubilité (affinité pour le solvant)

➤ Récupération après filtration



Différents facteurs influencent l'extraction: température, temps, type du solvant, ratio liquide/solide : optimisation de l'extraction

Extraction: techniques?

L'extraction solide/liquide:

Les solvants utilisés: l'eau, l'éthanol, hexane, acétone, anhydride carbonique, acétonitrile, méthanol ou **mélange binaire** (exemple mélanges d'eau-éthanol etc.) et **mélange tertiaire** (eau/éthanol/hexane etc.).

Une série d'étapes phénoménologique se produisent pendant la période d'interaction entre le soluté contenant la particule et le solvant effectuant la séparation:

1. Entrée du solvant dans la matrice solide
2. Solubilisation des composants ;
3. Transport du corps dissous à l'extérieur de la matrice solide ;
4. Migration du corps dissous extrait dans la solution ;
5. déplacement de l'extrait ,
6. Séparation de l'extrait et du solide.

L'extraction solide/liquide:

Protocole de base E S/L

+ agitation; + chauffage; + microonde; + ultrasons

2^{ème} étape: contact entre la matrice et le solvant

3^{ème} étape: Filtration et récupération du l'extraire (composé d'interet)

1^{ère} étape: préparation du l'échantillon

salade verte

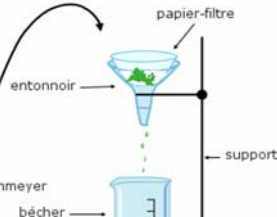
broyage dans un mortier

macération dans l'alcool

erlenmeyer

bécher

filtration et recueil du filtrat



Extractions conventionnelles

1. Extraction par macération

Matière végétale



Solvant adéquat (eau, EtOH)



Séjour à T°C ambiante
Pdt temps bien précis



Filtration

Objectif: solubilisation de certains composés solubles dans le solvant

Avantage:
économique (pas de consommation d'énergie)

Inconvénient

- ✓ Consomme beaucoup de solvant ;
- ✓ Durée d'extraction très longue ;
- ✓ Risque d'oxydation des substances ;
- ✓ Faible rendement d'extraction.

Extractions conventionnelles

2. Extraction par agitation mécanique à pression atmosphérique

Matière végétale



Solvant adéquat (eau, EtOH)

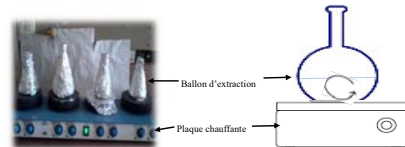
+ chauffage

Agitation mécanique

Pdt temps bien précis



Filtration



Extractions conventionnelles

2. Extraction par agitation mécanique à pression atmosphérique

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Simple à réaliser ; • Possibilité d'extraction à la température ambiante ; • Vitesse d'agitation réglable ; • Homogénéisation du milieu d'extraction ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Consomme beaucoup de solvant ; • Durée d'extraction très longue ; • Risque d'oxydation des substances ; • Evaporation du solvant...

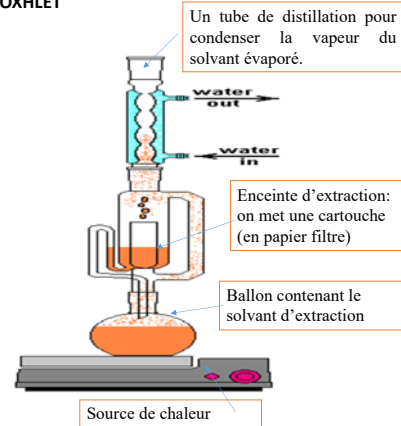
Les extractions conventionnelles?

3. EXTRACTION SOXHLET

- Cette technique d'extraction a été développée au cours des années 1800-1900 à des fins analytiques.
- une méthode simple et convenable permettant de **répéter infiniment le cycle d'extraction avec du solvant frais** jusqu'à l'épuisement complet du soluté
- Gain de solvant considérable
- Bon rendement d'extraction

Inconvénient

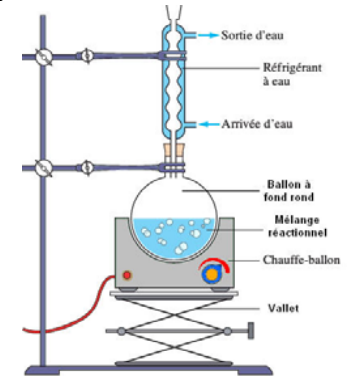
- Le temps d'extraction important; risque de dégradation
- La taille des cartouches est limitée
- Difficultés de travailler avec des solvants binaires



Extractions conventionnelles

4. Extraction à reflux

- une extraction solide-liquide: un transfert de substances de la matrice solide vers le milieu extracellulaire à la température d'ébullition du mélange réactionnel: **rapidité**
- Minimise les pertes en solvants et produits
- Contact est favorisé entre la matrice et le solvant



Extractions conventionnelles

4. Extraction à reflux

Avantages et inconvénients

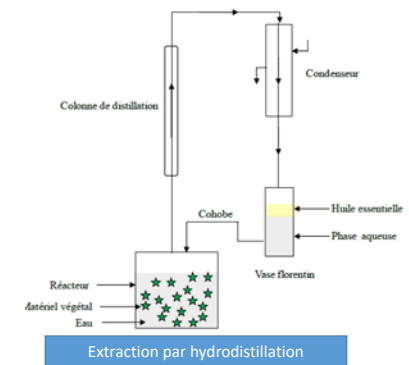
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Simple à réaliser ; • Extraction par épuisement ; • Bon rendement 	<ul style="list-style-type: none"> • Durée d'extraction plus ou moins longue ; • Risque dégradation des substances sensibles ; • Consomme de l'énergie.

Extractions conventionnelles

4. Extraction cas des huiles essentielles



Extraction par entraînement à la vapeur



Extraction par hydrodistillation

Extractions innovantes (modernes)

➤ Les extractions modernes

- plus rapides,
- Plus économiques
- Moins d'impact sur l'environnement,
- Moins de consommation d'énergie
- Moins de consommation de solvants

D'où l'appellation: GREEN EXTRACTION ou l'extraction verte

Extractions innovantes (modernes)

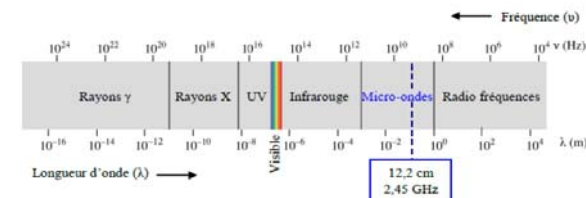
Extraction assistée par microonde (EAM ou MAE)

Microondes ?



Définition : MAE = extraction S/L + Microondes

Microondes: ondes électromagnétiques (300 MHz et 300 GHz)



Microonde domestique et industrielle:
éviter les interférences

Avantages:

- Microwave energy: < ionization energies (13,6 eV),
- covalent bond energies such as OH- (5eV),
- hydrogen bonds (2eV)

Extractions innovantes (modernes)

Extraction assistée par microonde (EAM ou MAE)

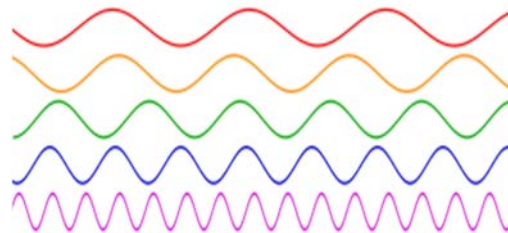
Rappel

la **fréquence** est le nombre de fois qu'un **phénomène périodique** se reproduit par **unité de mesure** du **temps**

La **fréquence** est inversement proportionnelle à la longueur d'onde

$$E = h \cdot \nu$$

$$\nu = c/\lambda$$



Différentes fréquences

Extractions innovantes (modernes)

Extraction assistée par microonde (EAM ou MAE)

Comment extraire avec les microondes ?

Choses à savoir :

Il y a des matériaux qui

- réfléchissent les ondes microondes: métaux
- sont transparents: n'absorbent pas les ondes (plastiques), solvants apolaires
- absorbent les microondes: matériaux polaires ou diélectriques; solvants polaires etc

Absorption d'énergie MO = libération de la chaleur = chauffage du milieu



C'est cette capacité qui est exploitée pour l'extraction
Mais elle est spécifique à chaque solvant
= certains paramètres permettent de l'évaluer

Extractions innovantes (modernes)

Extraction assistée par microonde (EAM ou MAE)

Comment extraire avec les microondes ?

L'aptitude d'un solvant à s'échauffer sous l'action d'un rayonnement micro-onde et à transmettre la chaleur aux autres molécules peut être **évaluée par le facteur de dissipation ($\tan\delta$)** lié au facteur de perte diélectrique (ϵ'') et à la constante diélectrique (ϵ') par la relation :

$$\tan\delta = \epsilon'' / \epsilon'$$

ϵ'' mesure la capacité à convertir l'énergie micro-onde en chaleur,

et ϵ' correspond à la capacité des molécules à se polariser dans un champ électrique (**réponse des molécules aux champs électriques**)

Un solvant avec une valeur **$\tan\delta$** et ϵ'' élevée et une valeur moyenne de ϵ' sera un bon solvant d'extraction

Extractions innovantes (modernes)

Extraction assistée par microonde (EAM ou MAE)

Comment extraire avec les microondes ?

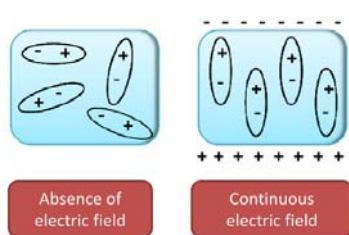
Table 1: Values of dielectric constant (ϵ') and loss factor (ϵ'') obtained at 20°C for the most solvent used in MAE (Sparr Eskilsson and Björklund, 2000).

Solvent	ϵ'	ϵ'' (Debye)
Hexane	1.89	<0.1
Heptane	1.92	0
Dichloromethane	8.9	1.14
2-Propanol	19.9	1.66
Acetone	20.7	2.69
Ethanol	24.3	1.69
Methanol	32.6	2.87
Acetonitrile	37.5	3.44
Water	78.3	1.87

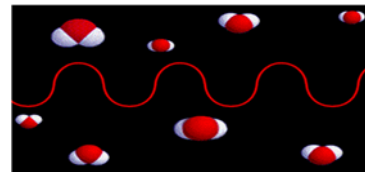
Extraction assistée par microonde (EAM ou MAE)

Comment extraire avec les microondes

1. Chauffage du milieu extérieur (solvant)



Rotation des dipôles en fonction de l'orientation du champ électrique



Rotation dipolaire des molécules:
Migration des ions
Mouvement de friction

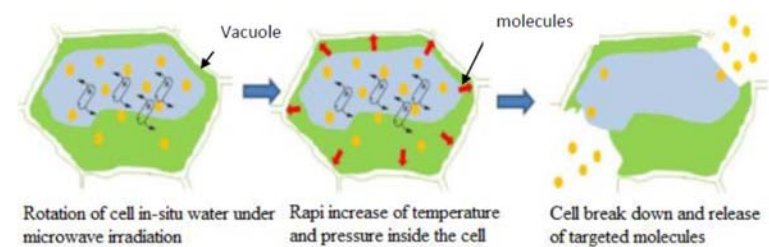
Conversion de l'énergie MO en chaleur
Favorise l'extraction des composés intracellulaires

Extractions innovantes (modernes)

Extraction assistée par microonde (EAM ou MAE)

Comment extraire avec les microondes (effet direct) ?

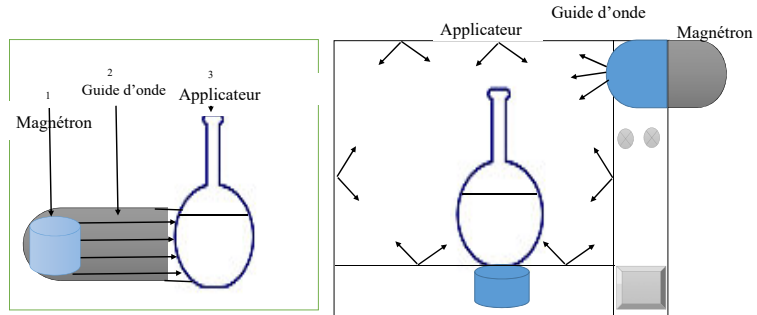
2. Chauffage du l'eau intracellulaire



Extractions innovantes (modernes)

Extraction assistée par microonde (EAM ou MAE)

Les composantes d'un microonde ?



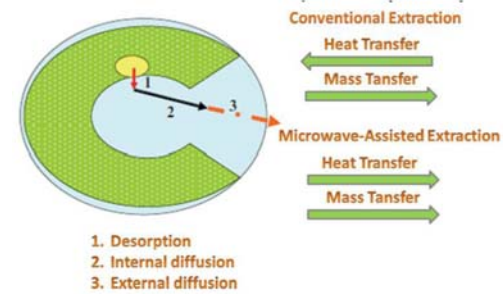
Représentation schématique de four micro-onde. (a) monomode et (b) multimode.

Extractions innovantes (modernes)

Extraction assistée par microonde (EAM ou MAE)

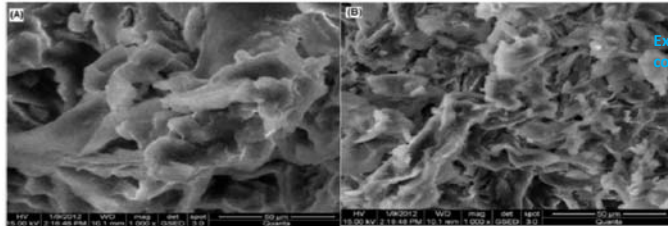
Comparaison entre extraction conventionnelle et microonde?

1. Transfert de chaleur et de la matière



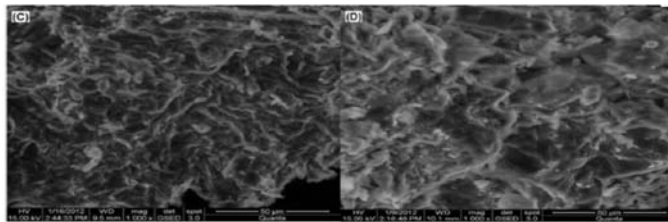
Comparaison entre extraction conventionnelle et microonde?

Avant extraction



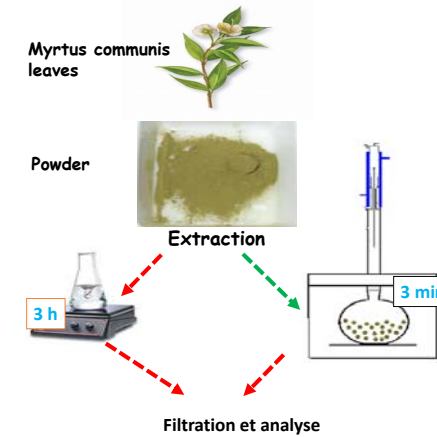
Extraction conventionnelle

Extraction MAE



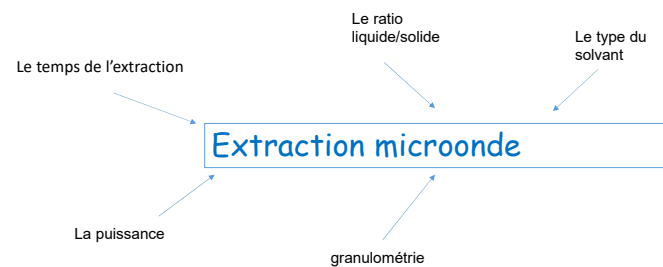
Comparaison entre extraction conventionnelle et microonde?

Gain de temps considérable (exemple d'une étude)



Comparaison entre extraction conventionnelle et microonde?

Facteurs influent sur l'extraction



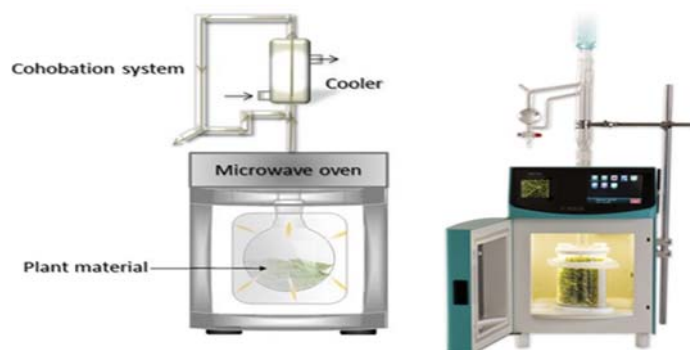
Présentation de quelques procédé d'extraction par microonde

Extraction microonde a reflux



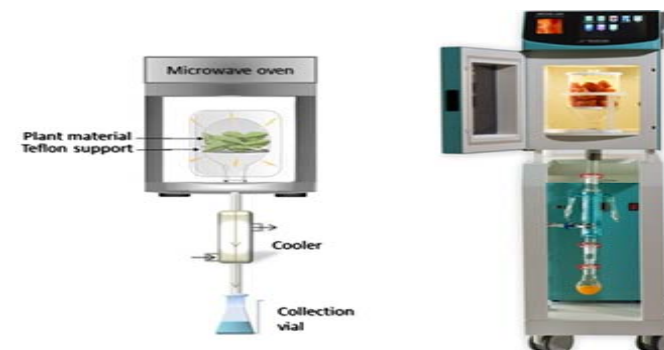
Extraction assistée par les ultrasons

Solvent-free microwave extraction (SFME):
extraction microonde sans solvant



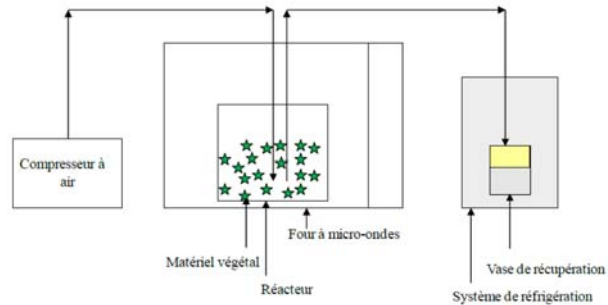
Extraction assistée par les ultrasons

Microwave hydro-diffusion and gravity (MHG)



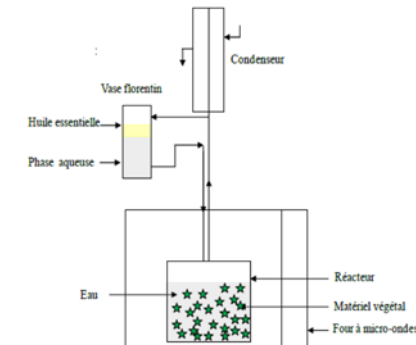
Extraction assistée par les microondes (cas des huiles essentielles)

Entrainement à l'air assisté par micro-ondes (CAMD).



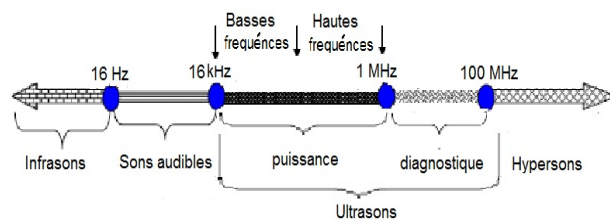
Extraction assistée par les microondes (cas des huiles essentielles)

Hydrodistillation assisté par micro-ondes (CAMD).



Extraction assistée par ultrasons

- **Les ultrasons:** ondes inaudibles avec des fréquences dans la gamme de **16KHz–500 MHz**, au-dessus de la limite supérieure de l'audition humaine.



Extraction assistée par ultrasons

Les ultrasons

Les ultrasons de puissance :

forte intensité et faible fréquence, de **16 kHz à 1 MHz**.

l'effet recherché: modification du milieu (phénomène de cavitation), accélération d'une réaction chimique, solubilisation, **extraction**

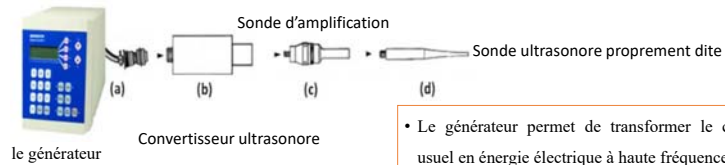
Ultrasons de diagnostic

- ultrasons de basse intensité ou de haute fréquence (2 à 10 MHz).
- Les applications médicales: visualisation en temps réels des organes comme le cœur sans effet ionisant ni destructif

Extraction assistée par ultrasons

générateurs de sondes et appareillage

1. Sonificateur à sonde ultrasonore (contact direct)



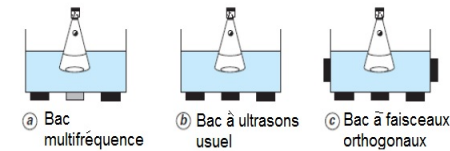
- Le générateur permet de transformer le courant électrique usuel en énergie électrique à haute fréquence.
- Le convertisseur transforme l'énergie électrique en énergie mécanique d'une fréquence donnée.
- La sonde d'amplification augmente l'amplitude de l'onde
- la sonde ultrasonore transmet l'onde au milieu réactionnel.

Extraction assistée par ultrasons

générateurs de sondes et appareillage

Bacs à ultrasons (contact indirect)

- Ce type d'appareillage génère des fréquences comprises entre 20 et 60 kHz à de faibles intensités acoustiques.
- La source vibrante est généralement **placée au fond du bac**,
- L'irradiation ultrasonore se fait d'une manière indirecte. Un liquide, généralement l'eau, sert à transmettre l'énergie depuis la zone d'irradiation jusqu'au produit.



Extraction assistée par ultrasons

Comment on extrait avec les ultrasons ?

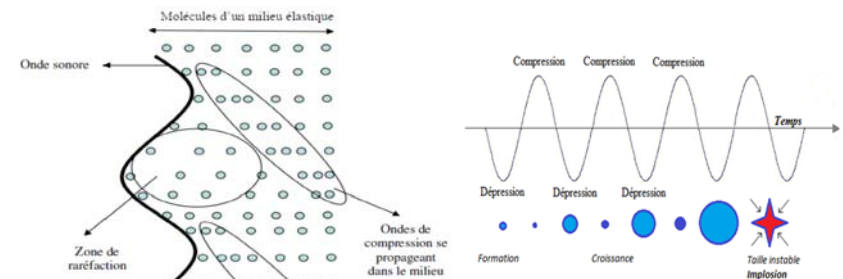
- Le procédé consiste à irradier par ultrason de la matrice en présence d'un solvant
- Le relargage des analytes dans le milieu externe se fait par **le phénomène de la cavitation**.



Extraction assistée par ultrasons?

Phénomène de cavitation ?

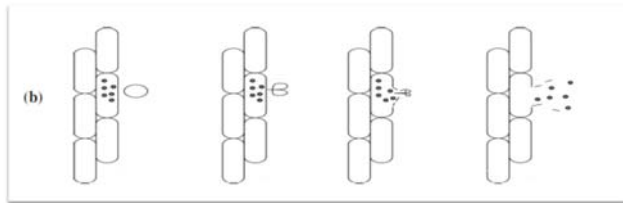
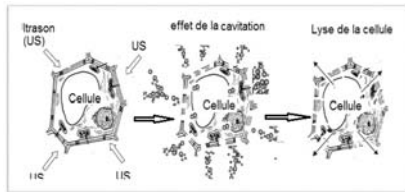
Avant tout: propagation d'une onde ultra sonore dans un liquide



- Pour garder les caractéristique du milieu (suite à la perturbation): formation de bulles (vapeurs)
- Explosion génère une forte pression et température (points chauds)

Phénomène de cavitation ?

Dans le cas d'une cellule végétale



L'extraction par fluide supercritique (SFE, Supercritical Fluid Extraction)

- Technologie assez récente (70)
- Le fluide le plus utilisé CO₂: co-produit, facile à obtenir, pouvoir d'extraction important

- Fluide supercritique:

CO₂

Certaines conditions T et P
31 °C, pression critique 73 bars

CO₂ supercritique : phase intermédiaire: moitié gaz et moitié liquide

Le gaz pénètre la cellule et extrait les substances d'intérêt et les entrainer avec lui

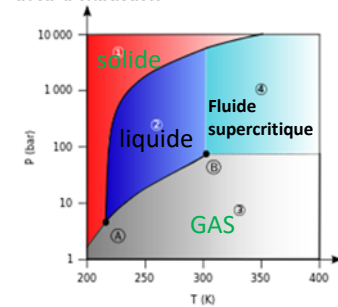
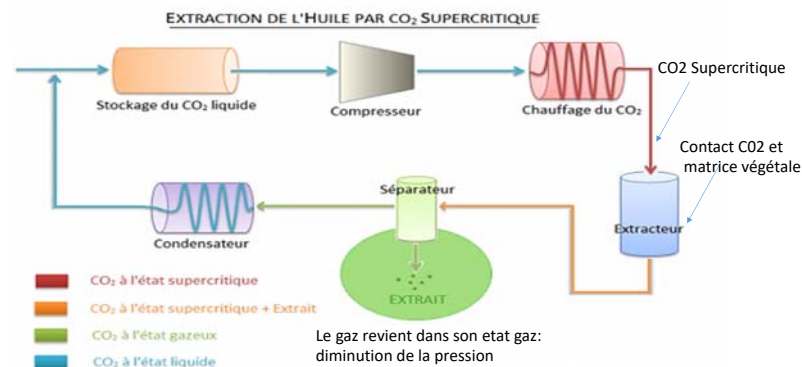


Diagramme de l'état de CO₂

L'extraction par fluide supercritique (SFE, Supercritical Fluid Extraction)



L'extraction par fluide supercritique (SFE, Supercritical Fluid Extraction)

Quelques exemples d'application industrielle:

- la décaféination du café et du thé avec du CO₂
- l'extraction des fractions amères de certaines plantes (houblon)
- l'extraction des acides gras polyinsaturés présents dans les huiles et de certains végétaux.

Inconvénient de cette méthode: elle n'extrait que les substances apolaires (hydrophobe)

2. Oléo chimie

L'oléo-chimie aussi appelée « chimie verte »: désigne la transformation physico-chimique appliquée aux huiles et graisses d'origine végétales ou animales.

D'abord utilisée pour la fabrication des savons, elle est employée couramment dans les industries agro-alimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques et autres.

On retrouve les produits de l'oléo-chimie dans de nombreuses applications :

Fluides mécaniques : lubrifiants, graisses, fluides hydrauliques et caloporteurs

Revêtements et adhésifs : peintures, laques, colles,...

Matériaux : plastiques, caoutchouc...

Agents tensioactifs : savons, détergents, surfactants...

Agents d'imprégnations : cires, encres ...

Combustibles : diester (biocarburants), cires de chandelles...

Intermédiaires chimiques : solvants, additifs....

Valorisation des sous produits issus de la transformation des fruits et légumes



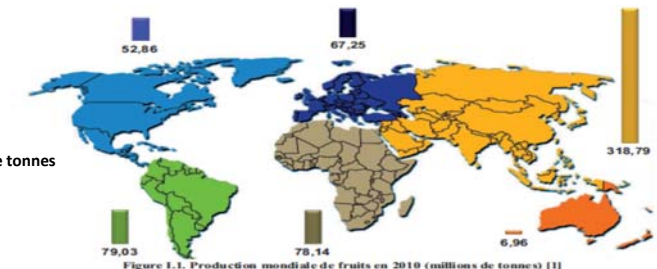
Les fruits et leurs bienfaits

- un **des éléments essentiels** pour une **alimentation équilibrée**
- sont connus pour leur rôle dans l'entretien **des fonctions vitales** de l'organisme humain.
- riche en **divers micronutriments** tels que les composés phénoliques (reconnus notamment pour leur fort pouvoir antioxydant), les minéraux, les vitamines etc.



Les fruits et production ?

- En 2010, 600 millions de tonnes au niveau mondial



Les fruits et transformation ?

- Les fruits peuvent être consommés directement ou bien après transformation
- La transformation permet: stocker le produit (disponible tout au long de l'année)
avoir de nouveaux produits

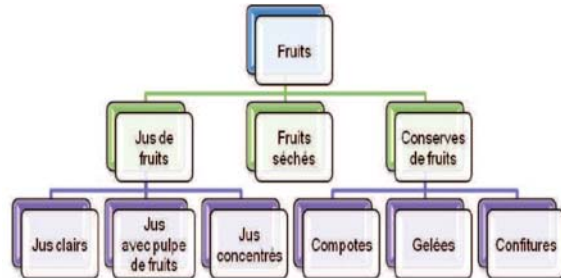
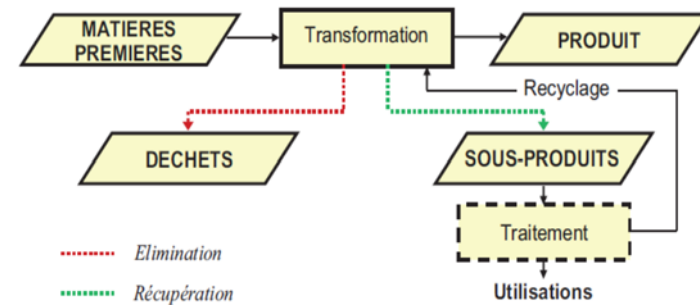


Figure 1.4. Produits obtenus à partir de fruits

Les fruits et sous produits?



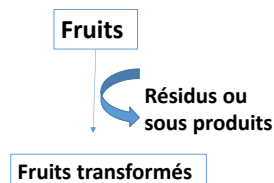
Formation des sous produits lors des tranformations industrielles

Les fruits et sous produits?

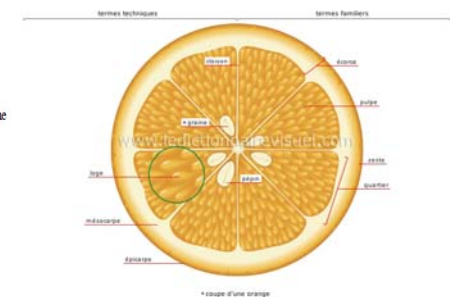
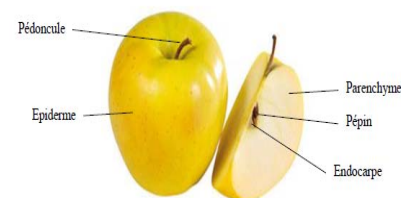
Sous produits

- pulpe de fruits
- peaux,
- pépins et de queux (pédoncule)

- Ces sous-produits sont facilement dégradables.
- Leur stockage et leur utilisation sont conditionnés par des restrictions légales.



Les fruits et sous produits?



Les fruits et sous produits?

Exemple fabrication d'un jus de pomme ?



des "gâteaux de presse" qui sont constitués: des chaires pressées, de l'épiderme, des pédoncules et des pépins (Figure 4-D).

Les fruits et sous produits?

Production de déchets ?

La quantité des déchets de fruits et légumes transformés ?

Fruit or vegetable	Annual processed (million Mt)	By-product/ processed fruit (% wet basis)	Estimated annual waste (million Mt)
Orange and other citrus fruits	31.2 ^a	50	15.6
Apple	12.0 ^a	25–35	3.0–4.2
Pear	1.7 ^a	NA ^f	
Peach (canned)	1.0 ^a	NA	
Grape	50 ^b	15–20	5–9
Cooking banana	30 ^b	30	9
Kiwifruit	1.0 ^c	30	<0.3
Tomato	30.0 ^d	3–7	0.9–2.1
Potato	150 ^e	15–45	22–67
(frozen potatoes)	6.5 ^a		
Carrot	23.6 ^c	30–40	<10

Directions de valorisation des sous produits ?

- De par leur composition riche, différentes voies de valorisation peuvent s'offrir : alimentation animale, agronomique, et extraction de substances bioactives

Que trouve t-on dans les résidus des fruits ?

- eau, minéraux, vitamines, phénols, caroténoïdes, chlorophylles, pectines, protéines (faible concentrations), fibres, sucres

La valorisation en alimentations animales

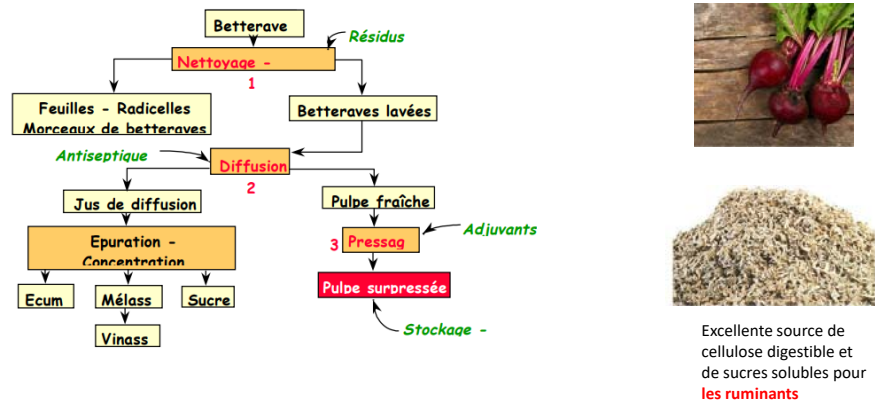
La valeur nutritionnelle des sous produits?

- la valeur énergétique des résidus de fruits est assez **élevée**, grâce aux **pectines digestibles** et **aux sucres**.

- Les **ruminants** sont les premiers utilisateurs des résidus de fruits frais ou ensilés. Grâce aux microorganismes de leur rumen (capable de dégrader la cellulose)

- Compte tenu **des teneurs en acides organiques** et en **alcool** des résidus de fruits, plus ou moins élevées, il est indispensable d'en limiter l'apport quotidien dans une fourchette de **0,5 à 1,1 kg** de matière sèche pour 100 kg de poids d'animal vivant

Exemple



La valorisation en alimentations animales

Tableau 1 : Composition chimique de la pulpe de betterave surpressée

	Moyenne	Extrêmes
Matière sèche (%)	22	16 - 33
Matières minérales (% MS)	9	6.5 - 13.5
Matières azotées totales (% MS)	10	8.1 - 12.4
Cellulose brute (% MS)	20	17.5 - 23
Matières grasses (% MS)	1.5	0.8 - 2.2
Calcium (g/kg MS)	15	7 - 40
Phosphore (g/kg MS)	1	0.8 - 1.2
Potassium (g/kg MS)	8	5 - 10
Sodium (g/kg MS)	1	0.5 - 1.5
Magnésium (g/kg MS)	1.5	1.2 - 1.7
Soufre (g/kg MS)	2	1 - 4
Manganèse (mg/kg MS)	50	35 - 60
Cuivre (mg/kg MS)	5	4 - 7
Zinc (mg/kg MS)	19	16 - 25
Aluminium (mg/kg MS)	700	Maxi 2500

1. Valorisation en alimentation animale ?

➤ Selon une étude sur l'ajout des résidus de la pomme (pomme + paille) ?

Tableau I.2. Composition chimique moyenne des aliments pour les animaux [27]

Analyse	Résidus de pommes séchées	Résidus de pommes ensilés	Maïs ensilé
Matière sèche, g/kg	749	284	429
Matière organique, g/kg MS*	929	925	936
Protéines brutes, g/kg MS	64	72	76
Fibre de détergent acides, g/kg MS	405	460	260
Fibre de détergent neutre, g/kg MS	473	567	463
Lignine, g/kg MS	10	20	44
Azote insoluble en détergent acide, g/kg MS	5,6	6,5	4,4

*MS – matière sèche

Résidus de la pomme peuvent entrer dans la formulation des aliments pour animaux

1. Valorisation en alimentation animale ?

Les résidus sont des produits instables :
traitement rapide

Surpressage

- Réduire le volume par élimination du liquide (30-40 % de la matière sèche)
- facilitation de transport
- Améliore l'ensilage (digestion anaérobies)



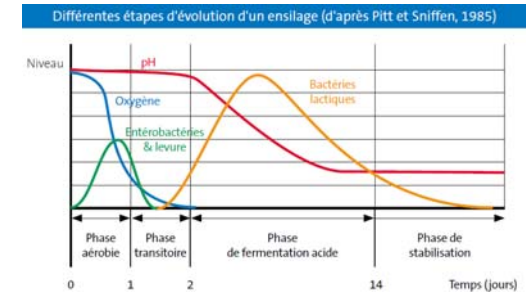
1. Valorisation en alimentation animale ?

Utilisation ?

1. Les sous produits peuvent être **utilisés directement en état** (dans les 48 h).
2. Les sous produits **peuvent être ensilés** pour pouvoir les conserver plus longtemps

Ensiler consiste à mettre le produit à l'abri de l'air, de façon à permettre le **développement des bactéries lactiques**. En fermentant les sucres solubles contenus dans la pulpe, ces bactéries **acidifient** très rapidement le milieu et abaissent le pH vers une valeur de **4**.

Tant que l'air ne s'infiltre pas, cette acidité **protège** le silo de toute **attaque microbienne**, notamment de la multiplication des butyriques. La pulpe conserve ainsi sa **valeur alimentaire** et son appétence pendant plusieurs mois.



2. Valorisation par épandage et compostage

- L'épandage et le compostage reposent sur le **recyclage en agriculture** des éléments **fertilisants** contenus dans les effluents ou les produits épandus: **retour au sol**

Explication:

Les plantes consomment des minéraux à partir du sol

↓
Réduction de la fertilité

↓
Compensation par un apport extérieur

= **minéralisation** (apport de minéraux ou **apport matière organique**)

- Avant ces opérations: connaissance sur le sol
connaissances sur les résidus

2. Valorisation par épandage

- Les **résidus de fruits** peuvent-être utilisés directement comme **fertilisants** par **épandage**

Mais ?

- cette pratique doit **être contrôlée**

Sinon ?

un **excès d'éléments** minéraux qui peut provoquer :

- fortes perturbations de la flore présente
- un **déséquilibre** des minéraux présents dans le sol ;
- une **accumulation** des métaux lourds dans le sol ;
- des fuites de ces minéraux vers les milieux aqueux

2. Valorisation par compostage

- le compostage est un processus aérobie

- Les résidus de végétaux

Action des microorganismes
thermophiles

Compost

sol

- une **étape préliminaire** de **réduction du contenu d'eau** (de 80-90% jusqu'à 50-60%) par pressage ou par séchage naturel.
- N.B. présence d'eau = décomposition anaérobie = dégagement des odeurs
- Neutralisation du pH**
 - Après le reste des étapes de compostage
Andain: hauteur approximative de 1,5 m et une largeur de 3,6 m.
- Le compost issu des déchets des fruits et légumes:
 - **bonne qualité fertilisante** (peut remplacer les engrais)
 - **le volume du déchet est fortement réduit**
 - **Une bonne capacité de rétention de l'humidité**

3. Valorisation sous forme de biomasse et d'agro carburants

Obtention de la biomasse

Biomasse: La biomasse peut être toute matière organique d'origine végétale (microalgues incluses), animale, bactérienne ou fongique (champignons).

Résidus des végétaux

Levures:
- utilisation des sucres
et acides organiques
- développement facile

Biomasse riche en protéines



Levure: fermentation,
synthèse de vitamines,
riche en acides aminés

Après autolyse et concentration
Éléments nutritifs

- Les résultats indiquent :

une tonne de résidus frais de fruits =
10 kg de biomasse de levure séchée
avec un contenu élevé en sélénium
et en protéines

3. Valorisation sous forme de biomasse et d'agro carburants

Obtention d'agrocarburant

Pourquoi agrocarburant ?

➤ La demande en carburant est en forte croissance

- Les combustibles fossiles (80%) sont polluants, épuisables, changement climatiques, biodiversité



Recherche de nouveaux carburants moins polluants ?



Valorisation des matrices végétales
pour obtention des Agro-carburants. Ex Bioéthanol

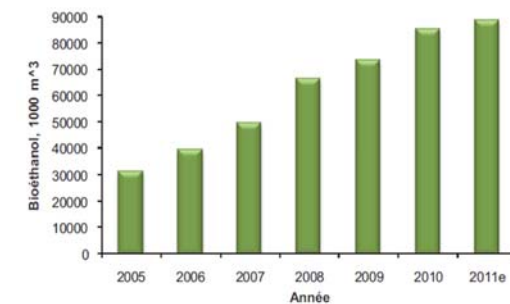
Obtention d'agro-carburant

Obtention du Bioéthanol

- Bioéthanol: carburant alternatif reconnue
+ production croissante

- Pays producteurs:
USA (maïs)
Brésil (canne à sucre)
UE, Inde, Thaïlande et Chine

Production mondiale du bioéthanol



Obtention d'agro-carburant Obtention du Bioéthanol

Le bioéthanol

Généralement Substances
riches en saccharose

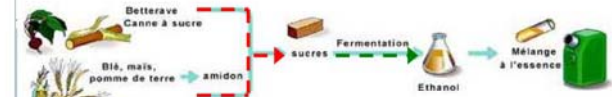
betterave, canne à sucre
ou féculé (blé, maïs, orge)
ou biomasse lignocellulosique de
nature glucidique (bois, pailles, bagasses)

d'autres sources végétales riches en
sucres telles que **les fruits et les résidus
de fruits: peuvent être utilisées**

Hydrolyse
+ Fermentation (levure)

Bioéthanol

Biocarburant (1^{ère} génération)



1. Biocatalyse

- Des enzymes « hydrolysent »
le substrat en sucres simples

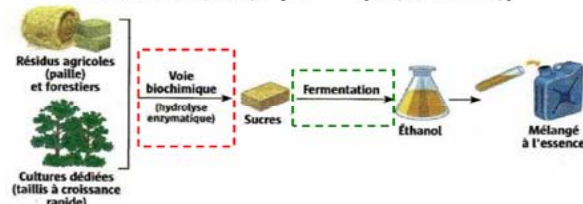
2. Fermentation

- Des levures fermentent les
sucres simples en éthanol

Cependant...

- Manques de surfaces agricoles disponibles
- Compétition nourriture / carburant
- Dégradation de l'environnement

Biocarburant (2^{ème} génération)



- (+)
- Meilleur rendement
 - Pas de compétition avec la filière alimentaire
- (-)
- Coût de production actuel élevé
 - Manque de maturité des technologies actuelles

La 3^{ème} génération déjà en cours... (microalgues)

Exemples de quelques études sur la production de bioéthanol à partir des résidus des fruits ?

Selon l'étude Patle *et al.*

les résidus de différents fruits (pommes, oranges, mangues, ananas)

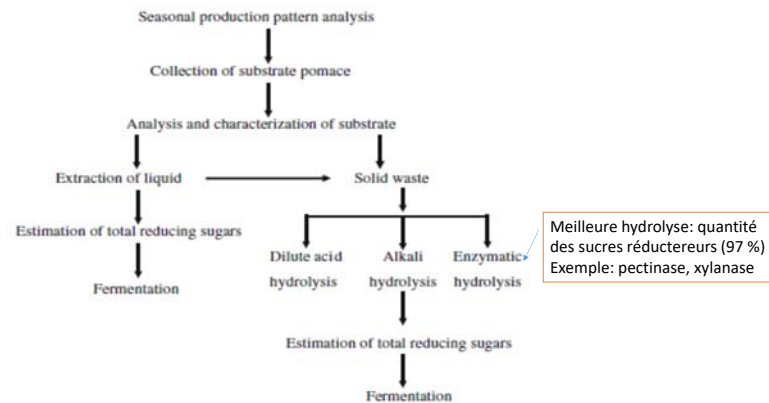
Estimer la Production du bioéthanol

Résultats

Les **résidus de pommes**: un volume élevé en éthanol
grande quantité de sucres fermentescibles

Exemples de quelques études sur la production de bioéthanol à partir des résidus des fruits ?

Selon l'étude Patle *et al.*



Exemples de quelques études sur la production de bioéthanol à partir des résidus des fruits ?

La production en ethanol par un mélange
de *Zymomonas mobilis* and *Candida tropicalis*

Substrates	Reducing sugars	Ethanol yield with salt media	Ethanol yield without salt media
Apple	122	49	50
Carrot	80	27	28
Mango	83	32	33
Orange	54	21	26
Pineapple	85	27	28

Présence de l'huile (limonene) dans la peau
des oranges: réduire la consommation de l'O₂

Conclusion: la production en bioéthanol diffère d'un résidu à un autre
la production est liée à la composition

4. Valorisation pour la production de biogaz

Les résidus des fruits

Production de méthane

EX. les résidus des pommes, de l'ananas et de la betterave
ont conduit à un rendement de 0,429-0,568 L biogaz / g de
charge totale de solide

Les résidus des fruits

Production d'H₂

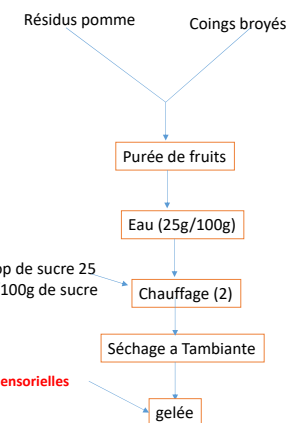
Les résidus de la pomme...etc
(production d'hydrogène de 134,04 mL.g⁻¹
solides totaux)

5. Valorisation en industrie alimentaire

1. Obtention de la gelée

Résidus des fruits → gelée

Une valorisation possible des résidus de fruits
et notamment de ceux de pommes consiste à
utiliser leurs propriétés gélifiantes.



5. Valorisation en industrie alimentaire

2. Obtention de l'huile végétale

➤ A partir des pépins des fruits

- Étapes:

- Ecrasés dans des moulins
- Chauffage: précipiter les protéines
- pressage ou extracron par solvant
- raffinage (neutralisation carbonate de Na, charbon actif pour decoloration, desodorisation.



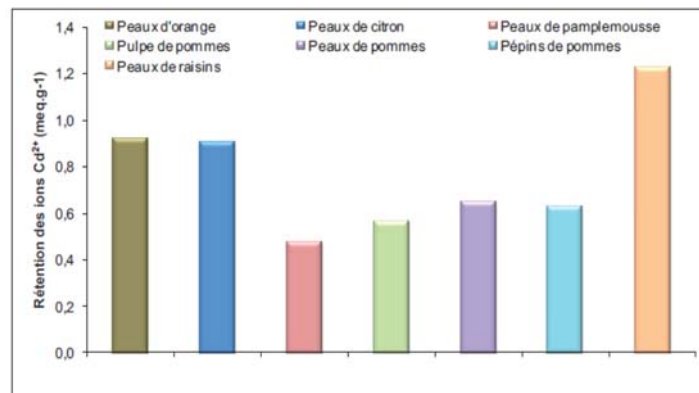
huile obtenue: acide oléique, acide palmitique, acide stéarique,
un gout agréable

- utilisation: cosmétique, paharmaceutique, alimentaire

D'autres valorisation ?

- Obtention de la levure de boulangerie
- Obtention de vinaigre alimentaire
- Source de fibres diététiques: son de blé, résidus des fruits (pomme)
- Sources de gélifiant (comme pectines), colorant naturel (anthocyanes)
- **Sustances bioactives (Métabolites secondaires)**
- **Obtention de bioabsorbant pour le traitements des eaux usées**

Rétention du Cadmium par les sous-produits végétaux



Valorisation par extraction des principes actifs et des substances diététiques

Les activités métaboliques des plantes conduisent à deux catégories de métabolites

▪ les métabolites primaires :

- ils sont présents dans toutes les espèces ;
- ils ont un rôle essentiel dans le métabolisme et le développement végétal

Les métabolites secondaires

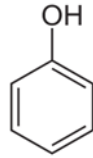
- ils sont différents selon les espèces ;
- ils ne participent pas directement au développement des plantes ;
- ils interviennent plutôt dans les relations avec les stress biotiques, abiotiques ou améliorent l'efficacité de reproduction.

Les trois classes principales:

- les alcaloïdes ;
- les composés phénoliques ;
- les composés terpéniques.

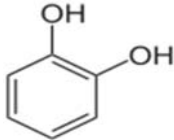
1. Les polyphénols: définition et structure ?

Phénol= noyan benzénique + groupement hydroxyle (OH)



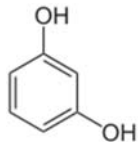
Pyrocatéchol
(position ortho)

benzène-1,2-diol



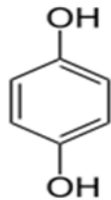
résorcinol
(position meta)

benzène-1,3-diol



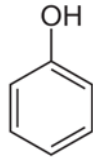
hydroquinone
(position para)

benzène-1,4-diol



Les polyphénols: Définition des structure ?

Phénol= noyan benzénique (aromatique)+ groupement hydroxyle (OH)



la règle d'aromaticité de Hückel : le système cyclique doit être

- plan
- posséder $(4n + 2)$ électrons délocalisés, n étant le nombre de cycles constituant le système

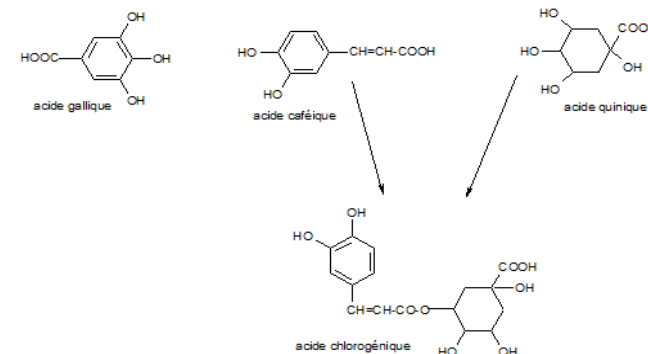
Les classes des polyphénols

1. Les acides phénoliques

Acides phénoliques	Structure chimique	Exemples
Acides hydroxybenzoïques		$R_1 = R_3 = H ; R_2 = OH$: Acide <i>p</i> -hydroxybenzoïque $R_1 = R_2 = R_3 = OH$: Acide gallique $R_1 = R_2 = OH ; R_3 = H$: Acide protocatéchuïque $R_1 = H ; R_2 = OH ; R_3 = OCH_3$: Acide vanillique $R_1 = R_3 = OCH_3 ; R_2 = OH$: Acide syringique
Acides hydroxycinnamiques		$R_1 = R_2 = H$: Acide cinnamique $R_1 = OH ; R_2 = H$: Acide coumarique $R_1 = R_2 = OH$: Acide caféïque $R_1 = OCH_3 ; R_2 = OH$: Acide férulique

Les classes des polyphénols

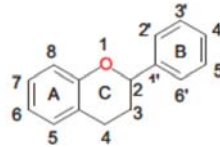
1. Les acides phénoliques



Les classes des polyphénols?

2.Flavonoides

Les flavonoïdes répondent à la structure générale suivante :



- Les noyaux **A** et **B** pourront être substitués plus ou moins fortement par des fonctions hydroxylées.
- Le noyau A pourra être substitué par des copules saccharidiques.
- La partie réactive de cette structure est en général le **noyau B** qui porte les fonctions mono, di, triphénoliques.
- s'accumulent surtout dans les parties extérieures des fruits: peau des fruits.....

On pourra caractériser plusieurs familles de composés:

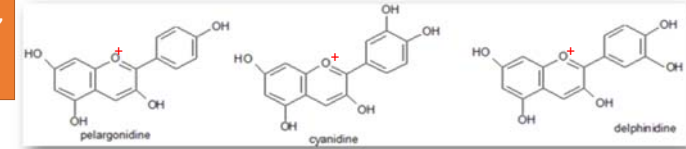
Les principales familles des flavonoides ?

▪ Les anthocyanidines

Coloration des fruits (rose, rouge, bleu, violet)

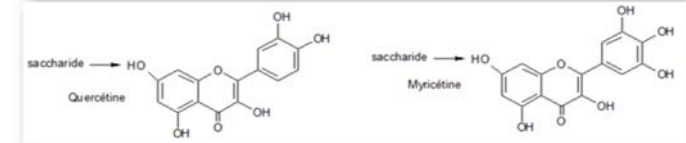
- Effet du pH : couleur

Anthocyanes= anthocyanidines+ sucre



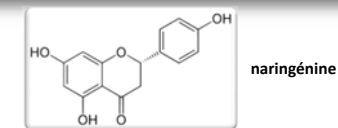
▪ Les flavonols

- +Fonction carbonyle
- Puissant antioxydant (structure catéchol)



▪ Les flavonones

Flavonol sans OH en position



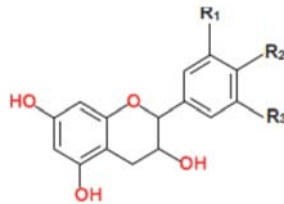
Les principales classes des flavonoïdes ?

Les flavanols

- OH en position 3
- Estérification position 3
- Exemple: les catéchines

Les catéchines:

EGCG: gallocatéchine gallate



$R_1 = R_2 = \text{OH}$; $R_3 = \text{H}$: Catéchine
 $R_1 = \text{H}$; $R_2 = R_3 = \text{OH}$: Epicatéchine

Les classes des polyphénols

Tanins: définition

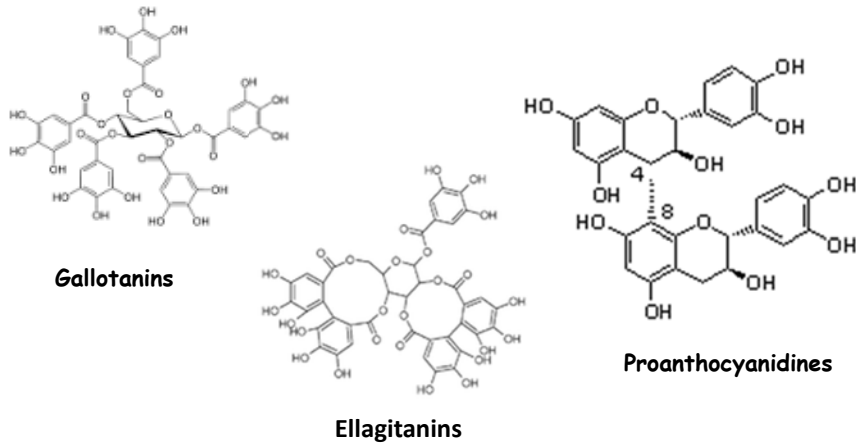
Il existe deux classes de tanins

•les **tanins hydrolysables (pyrogalliques)**: qui résultent de l'estérification des fonctions hydroxylées d'un saccharide par des acides organiques polyphénoliques (acide gallique, digallique, ellargique, lutéïque...).

- On peut obtenir jusqu'à une estérification des 5 fonctions hydroxylées. Ces tannins sont hydrolysables.

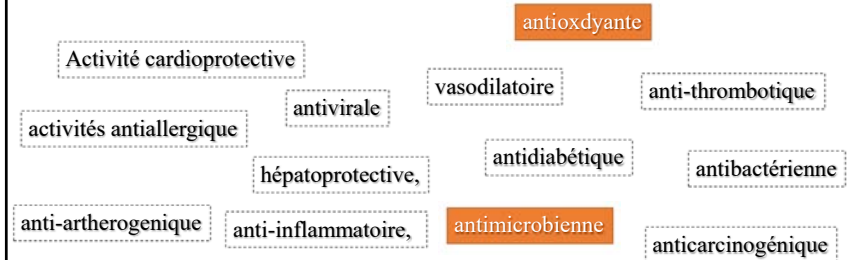
•les **tanins condensés** dont la structure est assez voisine de celle des anthocyanidols.

La tanins condensés et hydrolysables ?



Pourquoi s'intéresse t-on aux polyphénols ?

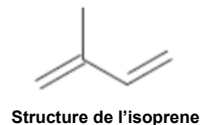
Les recherches récentes sur les composés phénoliques en générale et les flavonoïdes en particulier sont très poussées en raison de leurs divers propriétés physiologiques:



2. Composés terpéniques: définition et structure

Composés terpéniques:

- Famille la plus large de point de vue structural (plus de 30000 composés);
- Ces composés sont formés de l'assemblage d'un nombre entier d'unités penta-carbonées, ramifiées: **unités isopréniques (C5)_n**
- lipophiles ou hydrophiles, volatils ou non-volatils, cycliques ou acycliques



2. Composés terpéniques: classification

Les terpènes peuvent être classés en fonction du **nombre d'éléments isopréniques (a)** et du **nombre d'atomes de carbone (b)** et sont identifiés par la notation a : b

Classe de terpènes	Exemple	Structure
Monoterpènes (2 : 10)	Géranol	
Sesquiterpènes (3 : 15)	Farnésol	
Diterpènes (4 : 20)	Rétinol	
Sesterpènes (5 : 25)	Haslène	
Triterpènes (6 : 30)	Squalène	
Tetraterpènes (8 : 40)	α -Carotène	
Polyterpènes (> 100 : > 500)	Caoutchouc	

La famille la plus importante

Pourquoi s'intéresse t-on aux composés terpéniques?

➤ Les activités biologiques des tri terpènes sont diverses:

agents antimicrobiens

antimycotiques

viostatiques

immunomodulateurs

anti-inflammatoires

favorables à l'usage pharmacologique

Autres substances bioactives: Les pigments ?

Les principaux pigments chez les plantes

Chlorophylles



Caroténoïdes



Bétalaïnes



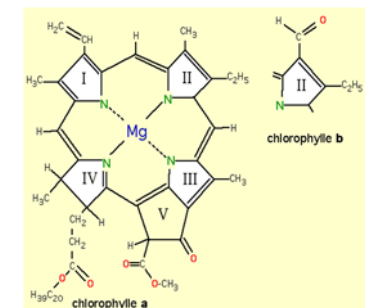
Flavonoïdes



Les pigments: chlorophylle et caroténoïdes

A. Chlorophylle

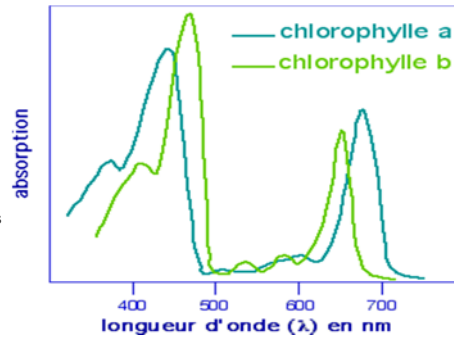
- Les chlorophylles sont :
 - est le principal pigment assimilateur des végétaux photosynthétiques.
 - Son spectre d'absorption du rayonnement lumineux est responsable de la couleur verte des végétaux
 - constituées d'un noyau tétrapyrrolique. Les pyrroles I, II, III et IV sont reliés par des ponts méthényles (- CH -).



Les pigments: chlorophylle et caroténoïdes

A. Chlorophylle: spectre d'absorption

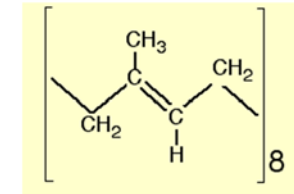
- Chlorophylle a: il est présent chez tous les végétaux aquatiques et terrestres ($\approx 3 \text{ g/kg}$ de feuilles fraîches)
- Chlorophylle b: se trouve chez les cormophytes (végétaux supérieurs) et les chlorophycées (algues vertes) à des teneurs moindres ($\approx 0.75 \text{ g/kg}$)



Les pigments: chlorophylle et caroténoïdes

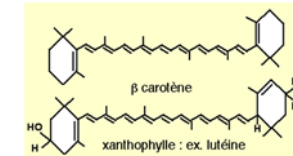
2. Caroténoïdes

- Les caroténoïdes sont des molécules constituées de 40 carbones formés de 8 unités isoprènes.
- Ils sont à l'origine de la coloration jaune et rouge de nombreux fruits et légumes, de champignons et d'algues
- Ils possèdent des extrémités cyclisées.



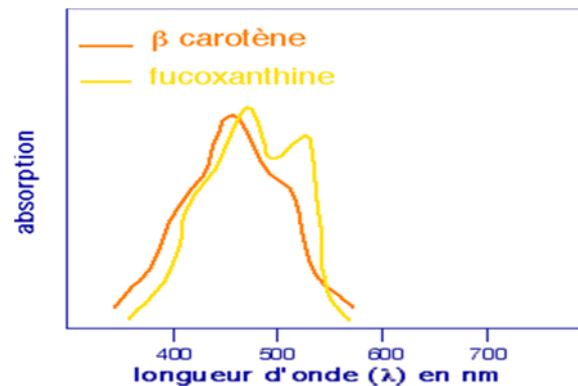
Les classes:

- les carotènes: lycopene, B-carotène
- les xanthophylles



Les pigments: chlorophylle et caroténoïdes

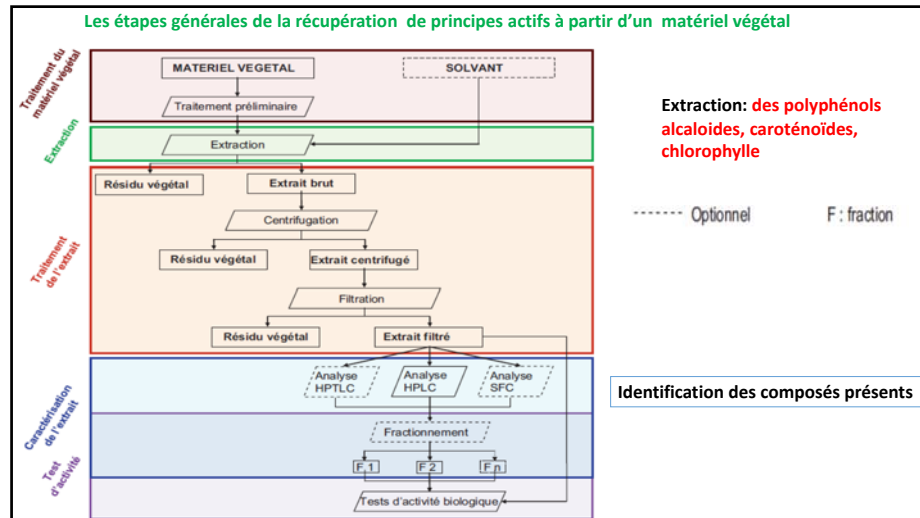
2. Caroténoïdes: spectre



Les pigments: chlorophylle et caroténoïdes

2. Caroténoïdes: Interet

- Coloration
- Activités antioxydantes
- Renforcent les communications intercellulaires:
 - réduisent le développement des cancers
- Précurseurs des vitamines (vitamine A)



La caractérisation du l'extrait végétal ?

Analyses phytochimiques

Détermination du contenu en composés phénoliques

- détermination du contenu en flavonols ;
- détermination du contenu en anthocyanines
- Détermination du contenu en tanins etc.

Détermination du contenu en pigments

- Caroténoïdes
- Chlorophylles

Analyse HPLC

Identification des composés extraits

Activités biologiques

Détermination de l'activité antioxydante

- détermination de l'activité anti-inflammatoire ;
- détermination de l'activité antimicrobienne ;
- détermination de l'activité antifongique ;
- détermination de l'activité anti tumorale etc.

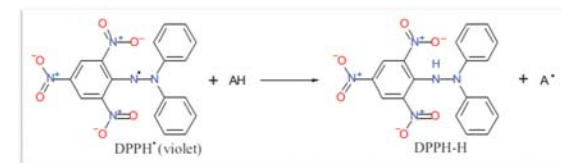
Exemple: mesure de l'activité antioxydante ?

Les méthodes de détermination de l'activité antioxydante *in vitro*

Classe de méthodes	Equation du mécanisme spécifique	Exemples
Transfert d'atome d'hydrogène	$AH + X^{\bullet} \rightarrow XH + A^{\bullet}$	<ul style="list-style-type: none"> Capacité d'absorption des radicaux libres (test ORAC) Capacité de piégeage des radicaux libres (test TRAP) Inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique Inhibition de l'oxydation des lipoprotéines basse densité
Transfert d'électron	$M(III) + AH \rightarrow M(II) + A^{\bullet}$	<ul style="list-style-type: none"> Pouvoir réducteur (test FRAP) Réduction du radical stable DPPH[•] Contenu en phénols totaux (test FC) Capacité antioxydante en équivalents trolox (TEAC)

Exemple: mesure de l'activité antioxydante ?

Principe d'un Test DPPH



Solution alcoolique
DPPH (méthanol)

+ Extrait végétal → DPPH réduit: décoloration
= perte de la couleur violette

Mesure du pouvoir antioxydant: Suivi de la disparition du DPPH:
mesure de l'absorbance 515 nm

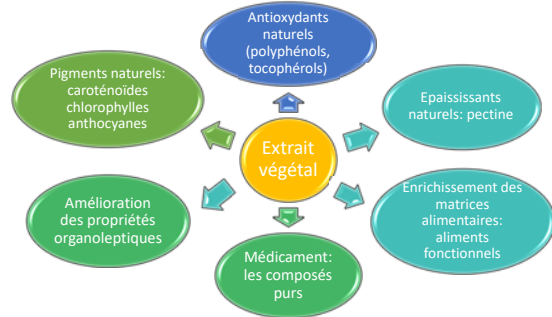
% d'inhibition = $(\text{Abs du contrôle} - \text{Abs du échantillon}) / \text{Abs du contrôle} \times 100$

• Abs du échantillon = abs du mélange réactionnel après le temps d'incubation

La décoloration est proportionnelle
- à la teneur en antioxydants
- Type d'antioxydants présents

L'utilisation de l'extrait végétal obtenu ?

➤ Peut être utilisé directement ou après purification



- Les composés les plus étudiés : composés phénoliques