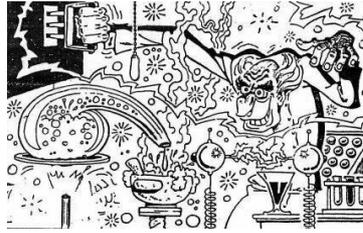


La chimie verte

Image négative dans l'opinion public



Anatomia Auri, sine Tyrocinium, Mylius



Chimie = Alchimie ?



Polvere da sparo



L'homme fait ce qu'il veut de la chimie!

Chimie = Catastrophe !?

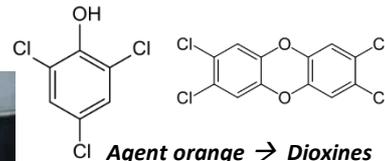
Chimie Rouge & Chimie Noire



Explosion de l'usine de Bhopal (1984)



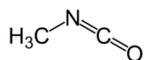
Seveso (1976)



Minamata (1956)

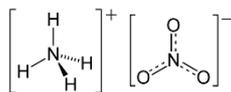


Toulouse
21 septembre 2001



Isocyanate de méthyle

Nitrate d'ammonium



Et la chimie,...

- ...ça soigne...



- ...ça rend beau...



- ...ça rend propre...



- ...ça sent bon...



La Chimie, c'est le quotidien de l'homme et de la planète !

Hygiène|Santé|Beauté

(Cosmétiques, Médicaments, Imagerie, Prothèses)

Agriculture, Alimentation

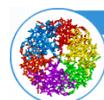
Emballage, Habitat|Bâtiment,

Dépollution...

Nouvelles technologies

(Energie, Santé, Automobile et aéronautique)

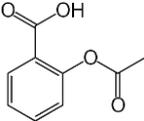
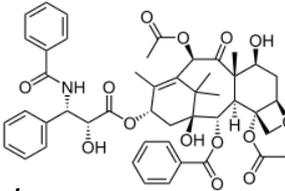
Tous les Phénomènes Vitaux



La photosynthèse

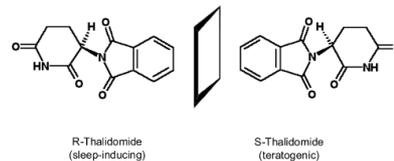
La chimie et la santé

Les médicaments : 50% produits naturels ou dérivés dont les propriétés ont été améliorées par voie chimique / 50% produits synthétiques

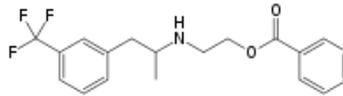
- L'**aspirine** (Saufe (*Salix*), 1899) : 
- Le **taxol** (If, *Taxus baccata*) : Taxotère[®] 
- Paludisme, SIDA : uniquement la chimie pas de vaccin

- La **Thalidomide** (années 1950) :

Une molécule maudite qui pourrait cependant avoir un avenir: lèpre, myélome...



- Le **Médiator**[®] (Benfluorex) :



L'autre visage de la chimie



Le vrai visage de la chimie



La chimie verte

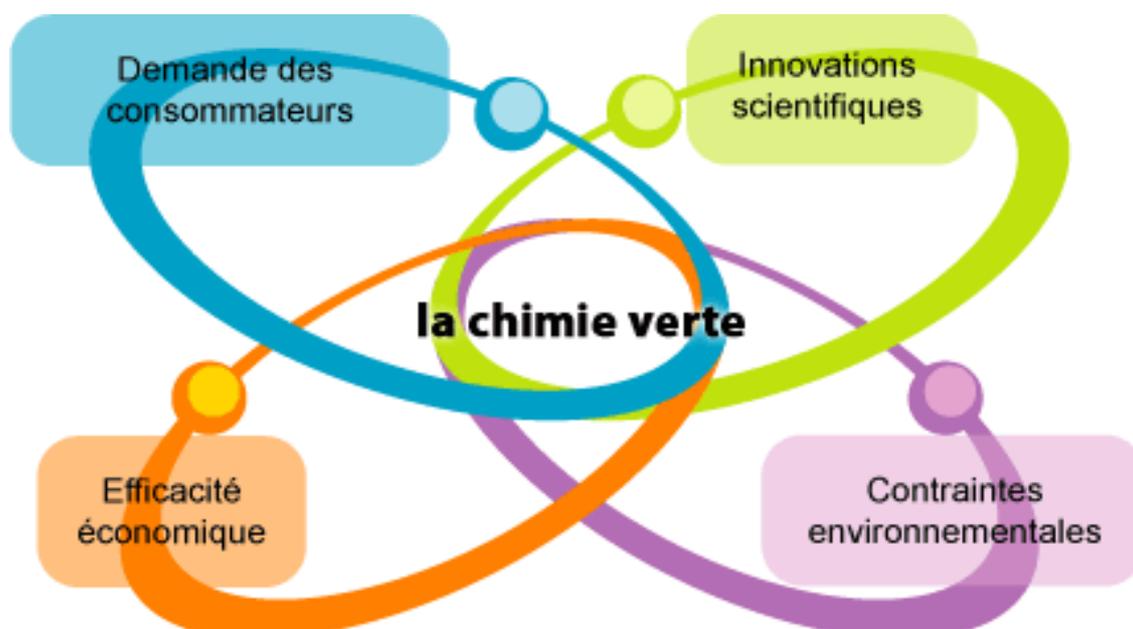


La chimie verte a pour but de concevoir des produits et des procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses (et ou toxiques).

Dans cette définition, le terme « dangereuses » est pris au sens le plus large : le danger peut être physique (substance inflammable, explosive...), toxicologique (cancérigène, mutagène...) ou global (environnement, destruction de la couche d'ozone, changement climatique...)

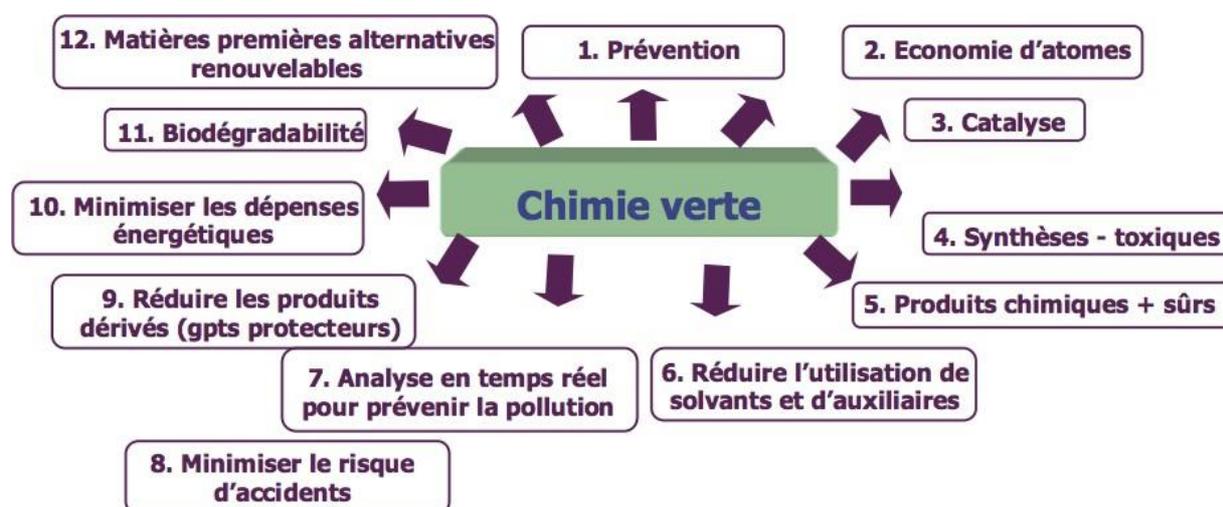
Ne pas confondre/restreindre : chimie verte & chimie végétale

Une prise en compte multi-factorielle



Source : <http://lesmetiersdelachimie.com/fr/>

Les douze principes de la chimie verte



Les 12 principes en détail

- **Prévention** : il vaut mieux produire moins de déchets qu'investir dans l'assainissement ou l'élimination des déchets.
- **Économie d'atomes** : les synthèses doivent être conçues dans le but de maximiser l'incorporation des matériaux utilisés au cours du procédé dans le produit final.
- **Synthèses chimiques moins nocives** : lorsque c'est possible, les méthodes de synthèse doivent être conçues pour utiliser et créer des substances faiblement ou non toxiques pour les humains et sans conséquences sur l'environnement.
- **Conception de produits chimiques plus sécuritaires** : les produits chimiques doivent être conçus de manière à remplir leur fonction primaire tout en minimisant leur toxicité.
- **Solvants et auxiliaires plus sécuritaires** : lorsque c'est possible, il faut supprimer l'utilisation de substances auxiliaires (solvants, agents de séparation...) ou utiliser des substances inoffensives.
- **Amélioration du rendement énergétique** : les besoins énergétiques des procédés chimiques ont des répercussions sur l'économie et l'environnement dont il faut tenir compte et qu'il faut minimiser. Il faut mettre au point des méthodes de synthèse dans les conditions de température et de pression ambiantes.
- **Utilisation de matières premières renouvelables** : lorsque la technologie et les moyens financiers le permettent, les matières premières utilisées doivent être renouvelables plutôt que non-renouvelables.
- **Réduction de la quantité de produits dérivés** : lorsque c'est possible, toute déviation inutile du schéma de synthèse (utilisation d'agents bloquants, protection/déprotection, modification temporaire du procédé physique/chimique) doit être réduite ou éliminée.
- **Catalyse** : les réactifs catalytiques sont plus efficaces que les réactifs stœchiométriques. Il faut favoriser l'utilisation de réactifs catalytiques les plus sélectifs possibles.
- **Conception de substances nonpersistantes** : les produits chimiques doivent être conçus de façon à pouvoir se dissocier en produits de dégradation non nocifs à la fin de leur durée d'utilisation, cela dans le but d'éviter leur persistance dans l'environnement.
- **Analyse en temps réel de la lutte contre la pollution** : des méthodologies analytiques doivent être élaborées afin de permettre une surveillance et un contrôle en temps réel et en cours de production avant qu'il y ait apparition de substances dangereuses.
- **Chimie essentiellement sécuritaire afin de prévenir les accidents** : les substances et la forme des substances utilisées dans un procédé chimique devraient être choisies de façon à minimiser les risques d'accidents chimiques, incluant les rejets, les explosions et les incendies

Les outils de la chimie verte

- Matières premières et réactifs alternatifs
 - Solvants et milieux alternatifs
- Produits et molécules cibles nouveaux
 - Catalyseurs alternatifs
 - Analyse des procédés

=> approche interdisciplinaire

(alliance chimie-engineering-microbiologie par exemple)

=> modéliser les molécules, les procédés et leurs effets

=> comprendre le danger de chaque produit

Qu'à fait,

que fait,

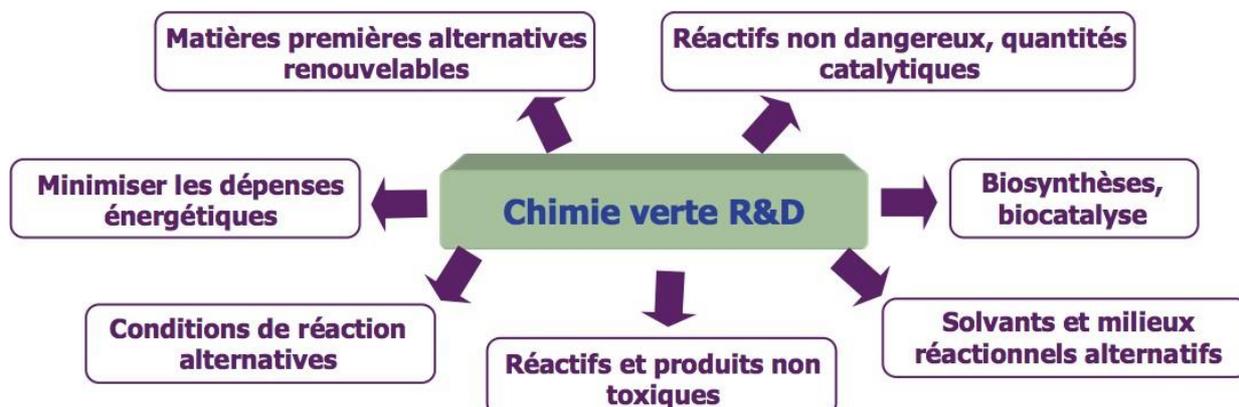


que fera

le chimiste?



Chimie verte et durable: 7 thèmes de recherche principaux

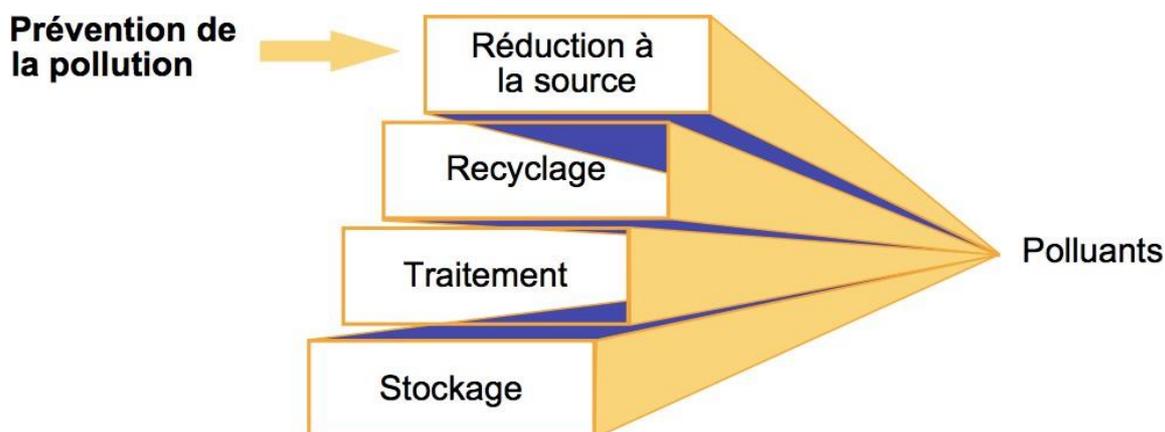


Un changement de mode de pensée :

Recommandations post-1990:

Utilisation plus efficace des matières premières, réduction des déchets
réduction des solvants et des réactifs toxiques

Une attitude responsable vis à vis de la pollution et des risques de la chimie



Principe 1

Prévention: Réactifs non dangereux

- **Éliminer les déchets : un enjeu majeur**



RAFFINERIE



CHIMIE LOURDE

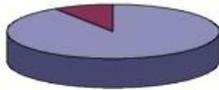


CHIMIE FINE

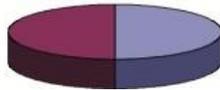


CHIMIE PHARMACEUTIQUE

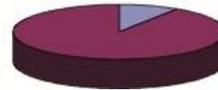
Production mondiale annuelle (T/an) Produits/déchets



10⁶-10⁸ t/an
0,1 kg/kg



10⁴-10⁶ t/an
1-5 kg/Kg



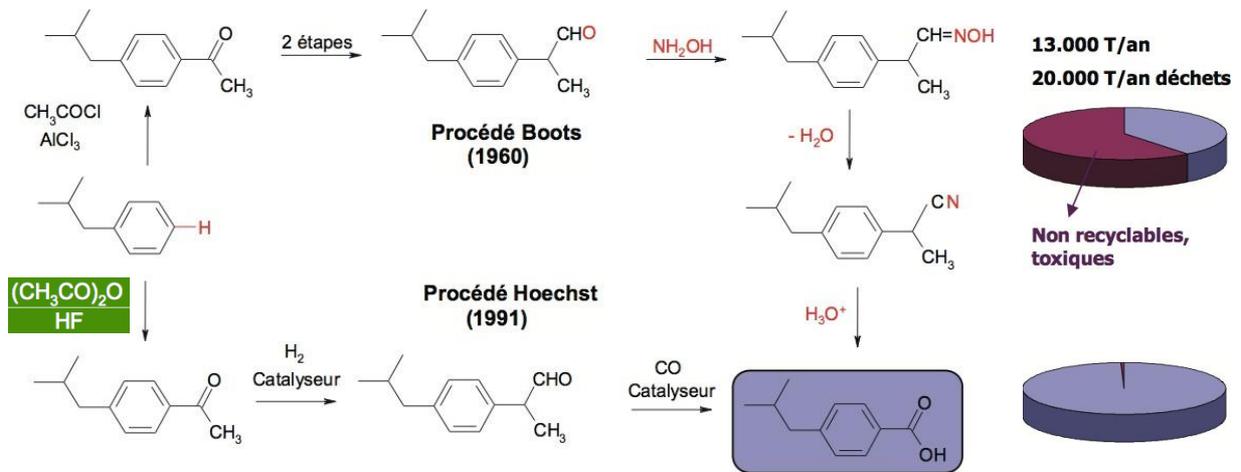
10²-10⁴ t/an
5-50 kg/kg



10-10³ t/an
25-100 kg/kg

Principe 2

L'économie d'atomes, économie d'étapes



La synthèse de l'Ibuprofen

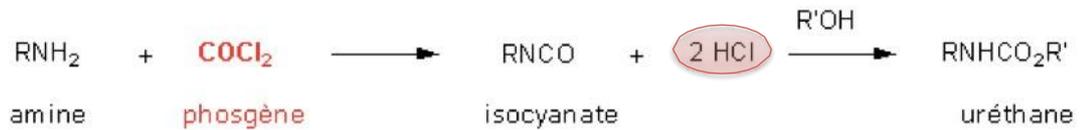
Principe 4 (5) : plus sûrs et moins toxiques

La synthèse des Uréthanes

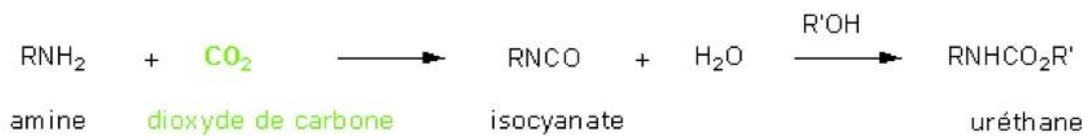
La chimie sans Phosgène



procédé historique au phosgène



procédé Monsanto sans phosgène



La synthèse des polycarbonates

Principe 4

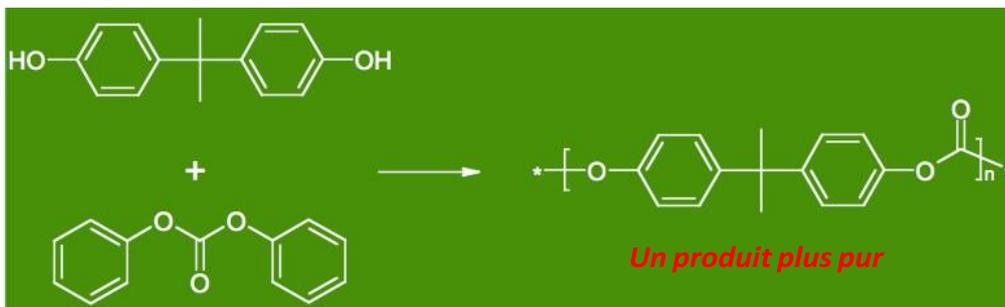
Le procédé classique



Le bisphénol A

Utilisation de chlorure de méthylène

Le procédé sans phosgène



Principe 6 Réduire l'utilisation des solvants

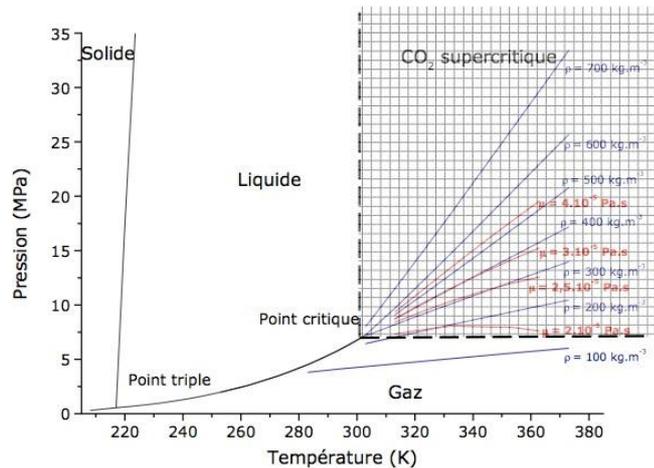
Les solvants créent souvent des problèmes car ils sont volatils, inflammables et toxiques.

Alternatives : l'eau (H₂O) subcritique ou le CO₂ supercritique

I **Domaine supercritique**
(P > 74 bar & T > 31°C)

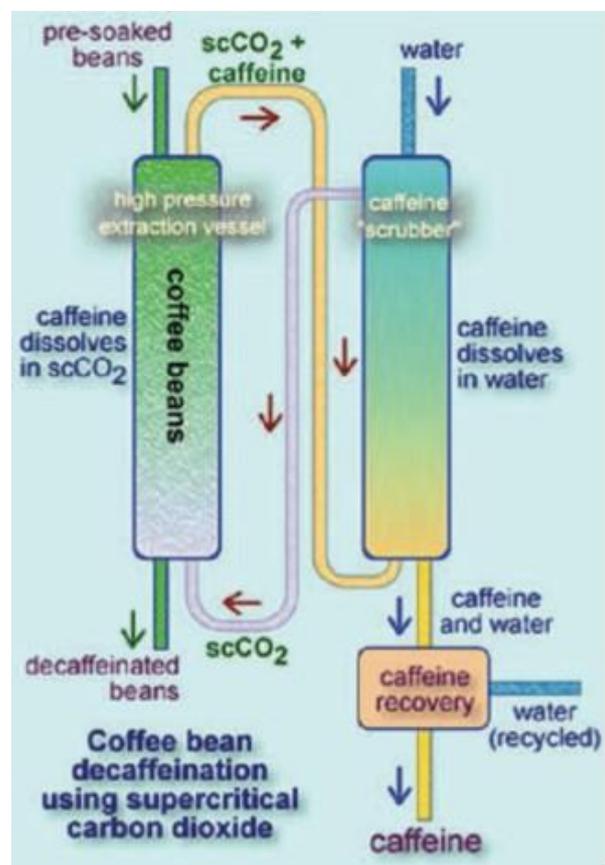
I **Aussi dense qu'un liquide et aussi peu visqueux qu'un gaz**

I **Pouvoir solvant**

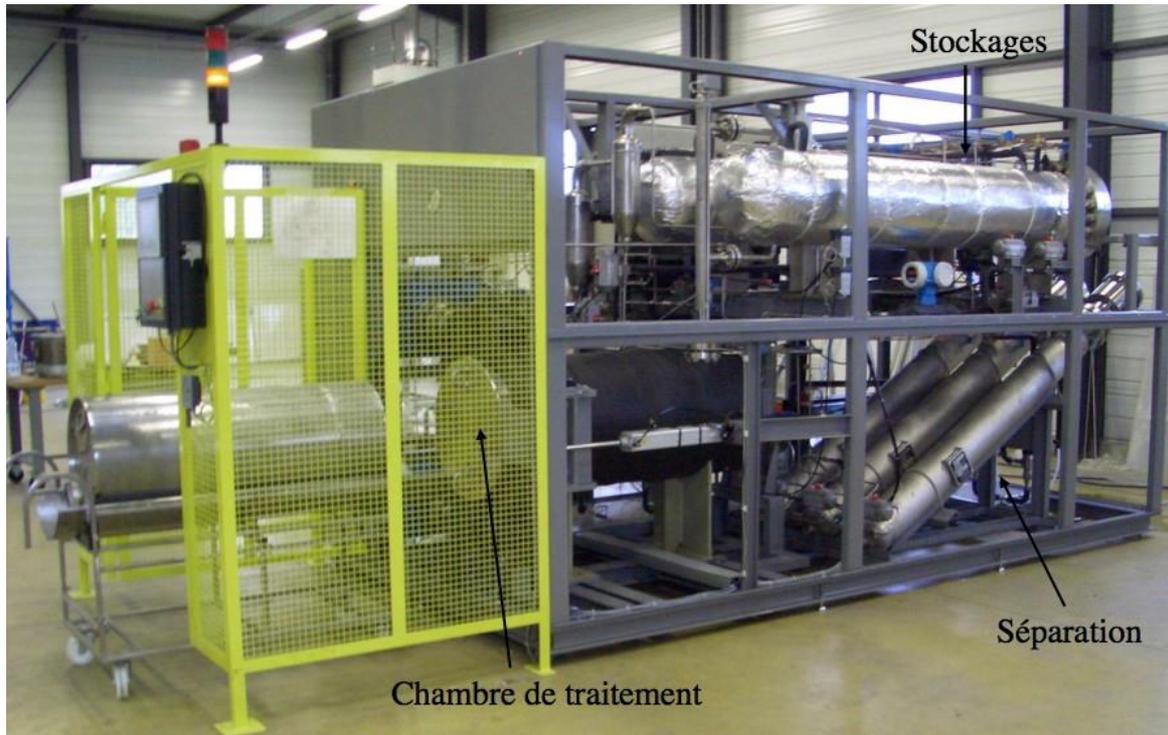


Utilisation CO₂ supercritique

- ✓ Nettoyage à sec
- ✓ Chips light
- ✓ Nettoyage de puces électroniques
- ✓ Dégraisser des pièces mécaniques
- ✓ Café décaféiné...

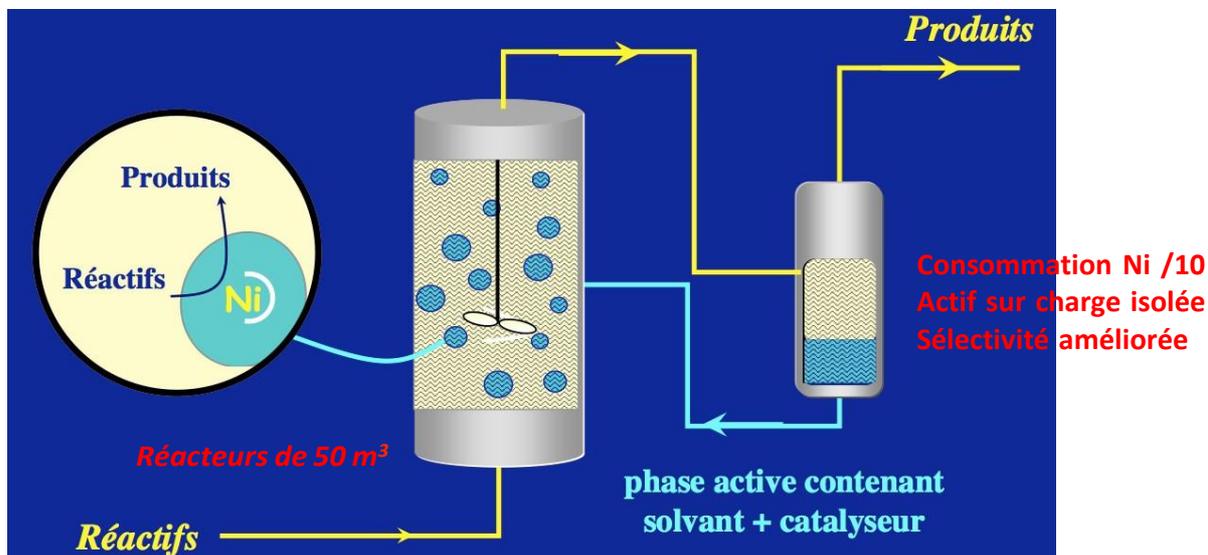


Utilisation CO₂ supercritique



Les liquides ioniques :

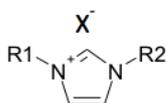
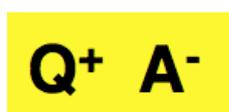
alternative des solvants classiques



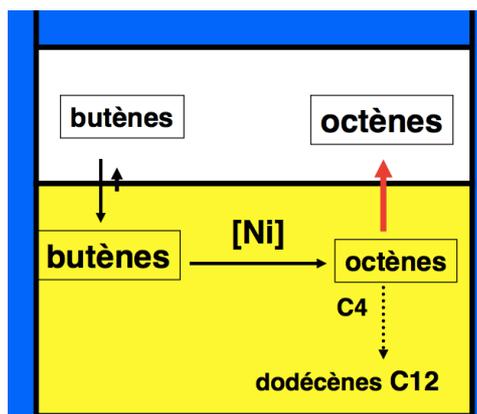
Procédé Difasol (IFP, Y. Chauvin) : dimérisation des éthyléniques (synthèse d'octènes pour l'utilisation comme plastifiant)

Les propriétés des liquides ioniques

- Très basses pressions de vapeur (non volatils)
- Haute stabilité thermique (jusqu'à 200 voire 400°C),
- Liquide dans un large domaine de température (solide à T°C ambiante)
- Hautes capacités calorifiques (économie d'énergie)
- Bons solvants pour de nombreux composés organiques et inorganiques,
- Bons conducteurs (de 0,01 à 1,5 S/m) possibilité d'électrochimie



Recyclables



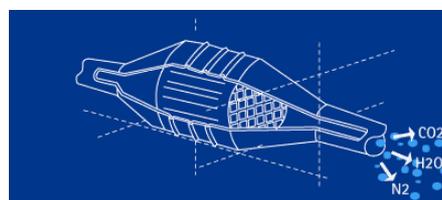
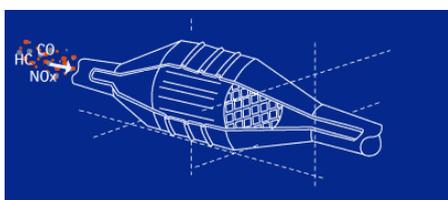
Principe 3 *La catalyse*  **2001,2005,2010**

Catalyseur : substance qui accélère la réaction sans être consommée

Oxydation, Réformage,, Craquage,
Hydrogénation, Désulfuration, Polymérisation,
MeOH, HNO₃, H₂SO₄, ...
Chimie fine...en pharmacie par exemple

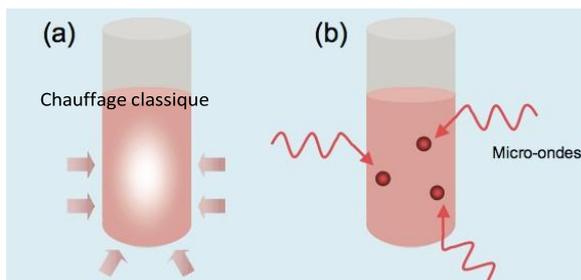
Fe, Ni, Co, Pt, Pd, Rh.... POM, zéolithes, céramiques

Applications : les pots catalytiques des automobiles



Principe 10

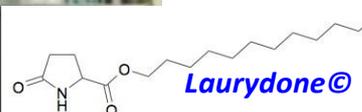
Conditions réactionnelles alternatives



Rapidité
Chauffage homogène
Pas d'effet de paroi
Economie d'énergie
Flux continu
Moins de déchets

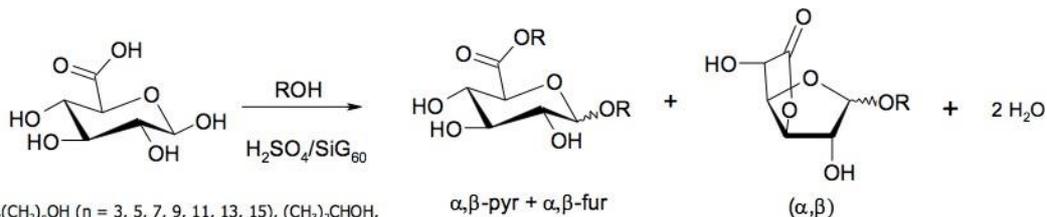


150 kg / 4h
(et sans catalyseur)



Synthèse des esters

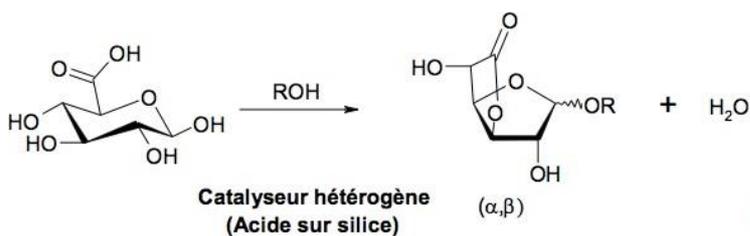
Synthèse en une seule étape et sans solvant



H₂SO₄ imprégné sur silice

ΔT (65-85°C), 6-24h, 70-98%

Amélioration par activation micro-ondes

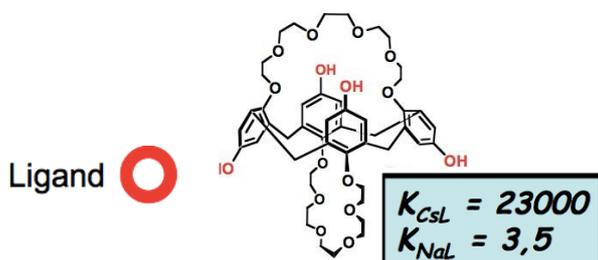
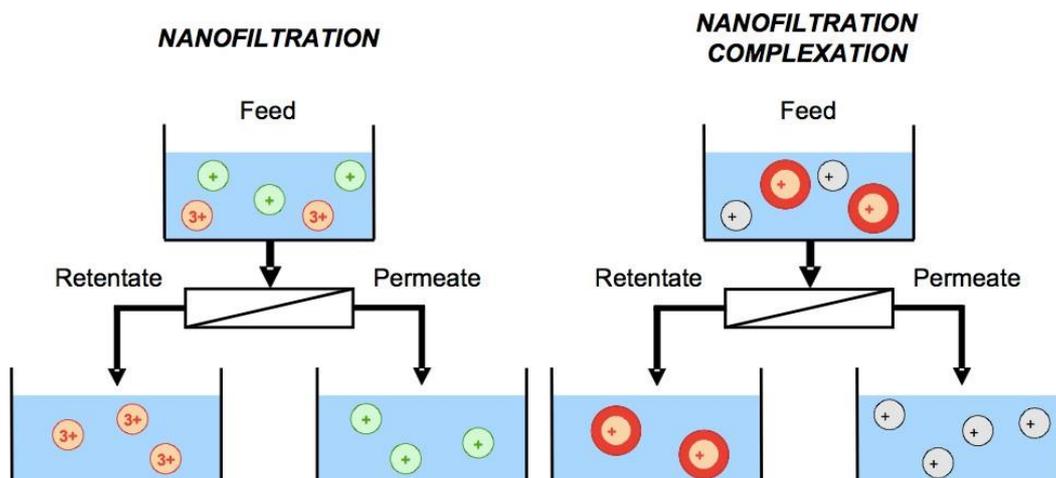


μO (60-85°C), 10 min, 85-99%

TECHNISE

Principe 11

Nouveaux procédés (dépollution)



Retraitement des combustibles nucléaires

Principe 12

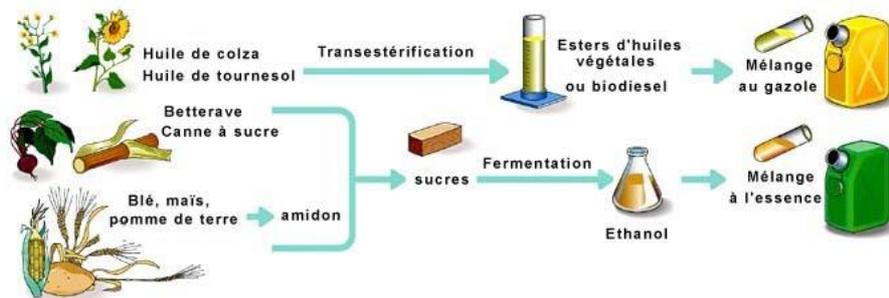
Les biocarburants

"Une nouvelle ruée vers l'or se dessine: la ruée vers l'or vert !"

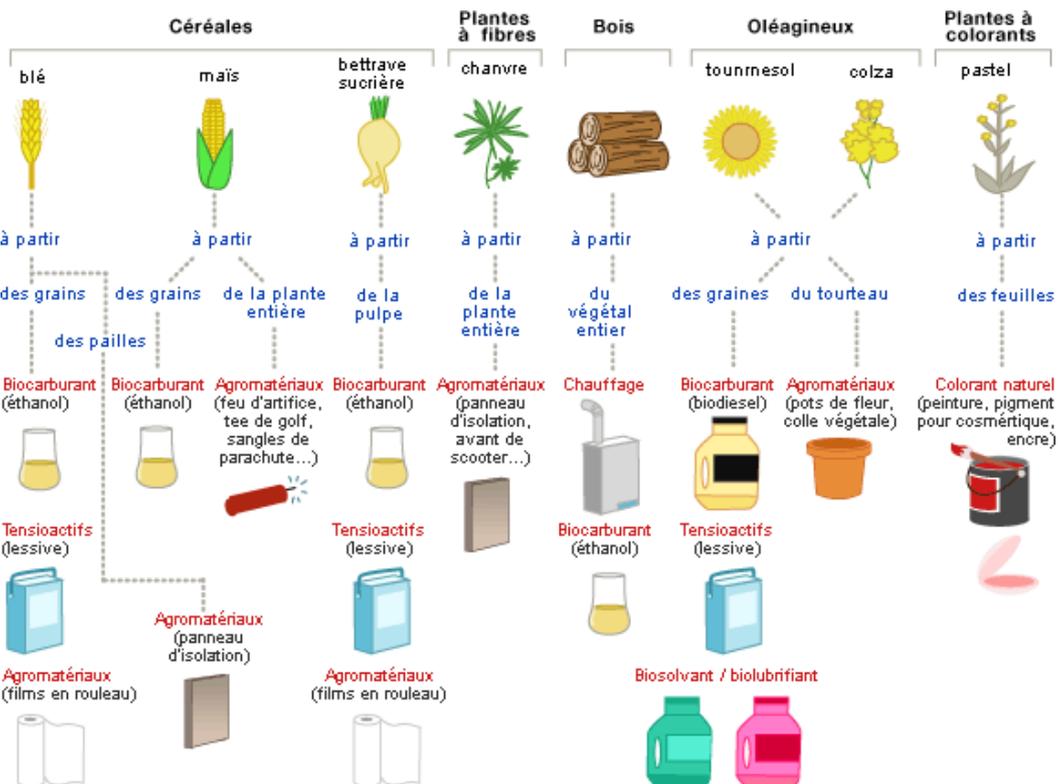
Biomasse: Fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, de la sylviculture, des déchets industriels et municipaux.

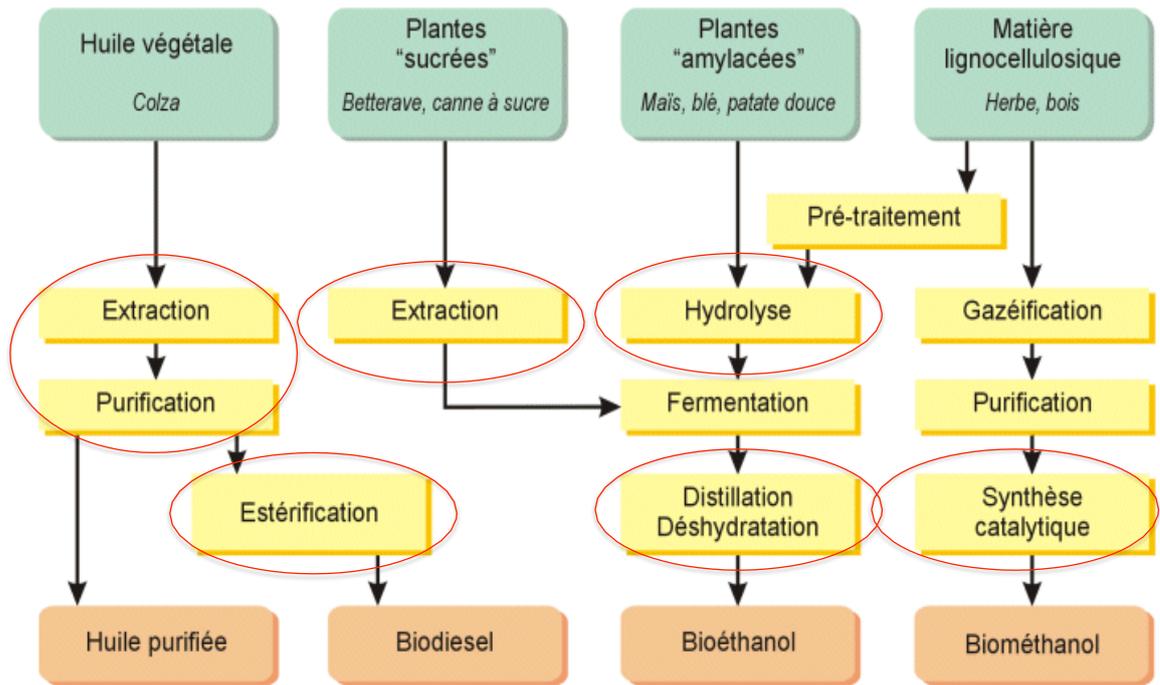


LES FILIÈRES CLASSIQUES



Utilisation des agroressources





Des processus (bio)chimiques à mettre en œuvre