

Cours introduction aux biotechnologies

2^{ème} année SNV / L2 BV

Préparé par Dr .BENTAHAR Soumia

1

Année universitaire 2020/2021

CHAPITRE I : INTRODUCTION

INTRODUCTION

La biotechnologie est une **science multidisciplinaire** qui englobe **différentes techniques et procédés**. Il s'agit peut-être actuellement de la technologie émergente la plus au point et la plus susceptible d'avoir un avenir de même que les sciences de l'information. En outre, cette situation s'est accélérée en raison des grands progrès de la biologie moléculaire ces dernières années, qui a permis d'obtenir des nouveaux organismes et des protéines de synthèse.

Face à la pollution croissante de la planète, la biotechnologie est considérée comme une solution dans bon nombre de domaines de la prévention de la pollution, dans le traitement des déchets et dans les nouvelles technologies moins polluantes.

I. Définition des concepts

I.1 Origine du terme « Biotechnologie »

Qu'est-ce que les Biotechnologies ?

Le terme « Biotechnologie » a été utilisé par **Karl Ereky** en 1919 dans un livre intitulé « La biotechnologie de la viande, la graisse et la production de lait dans une agriculture à grande échelle ».

Pour Ereky :

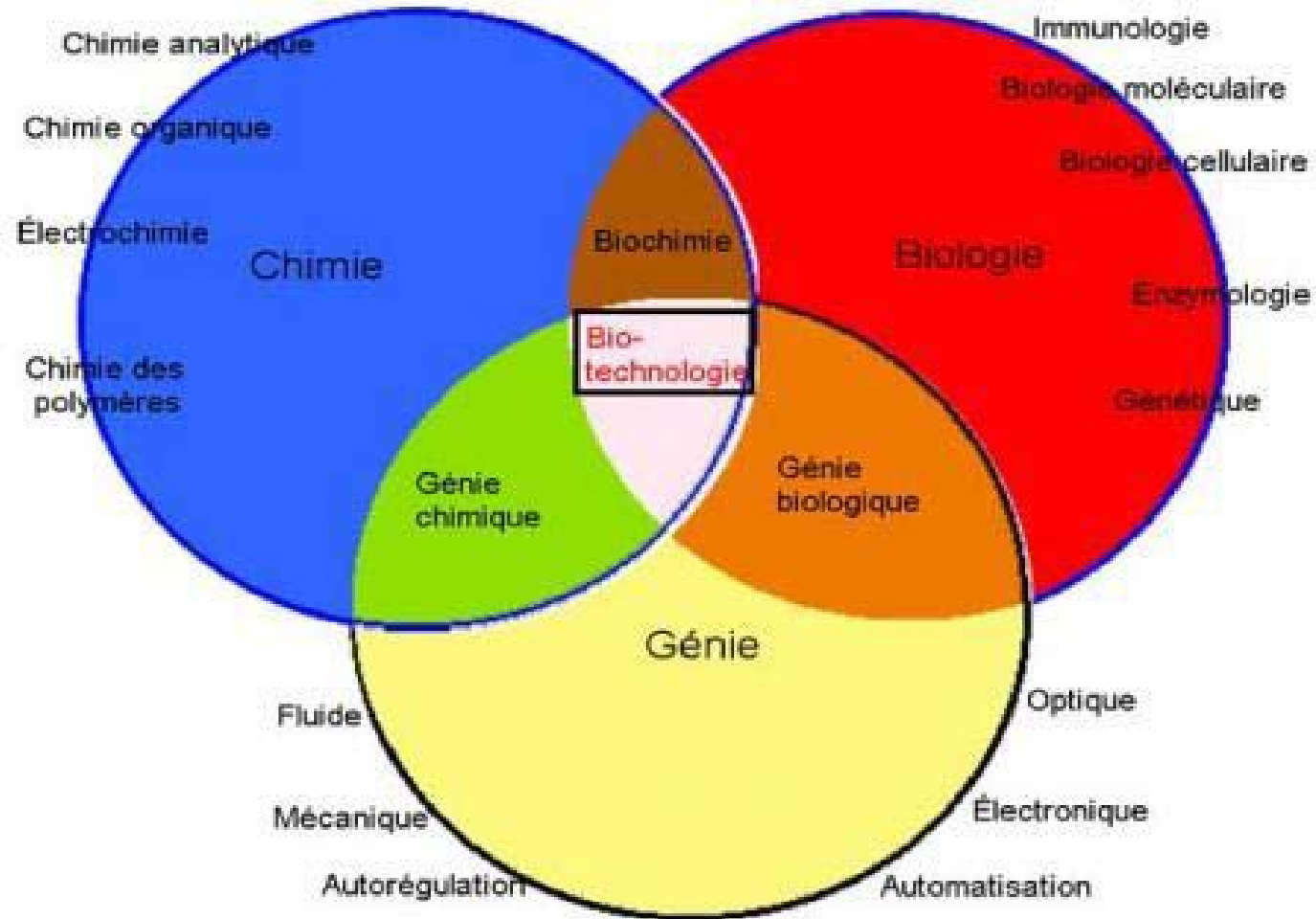
Le terme « biotechnologie » a indiqué le processus par lequel les matières premières pourraient être améliorées biologiquement en produits socialement utiles ...

I.1.1 Définitions de la biotechnologie :

La biotechnologie peut être définie différemment :

- On appelle biotechnologie les procédés biologiques produisant des substances bénéfiques à l'agriculture, à l'industrie, à la médecine et à l'environnement.
- La biotechnologie implique la manipulation, sur des bases scientifiques, d'organismes vivants, particulièrement à l'échelle génétique, afin de produire des nouveaux produits tels que les hormones, les vaccins, les anticorps monoclonaux, etc. ».
- La biotechnologie consiste tout simplement à utiliser des microorganismes, ainsi que des cellules végétales et animales afin de produire des matières, notamment des aliments, des médicaments et des produits chimiques utiles à l'humanité »
- Toute technique utilisant des organismes vivants (ou une partie d'entre eux) pour créer ou développer des microorganismes destinés à des usages spécifiques ».

La biotechnologie est une discipline **pluridisciplinaire**, Impliquant l'apport de :



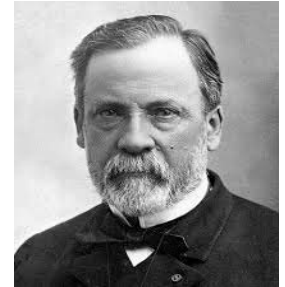
Principales disciplines contribuant aux biotechnologies

I.2. Evolution de la biotechnologie dans le temps

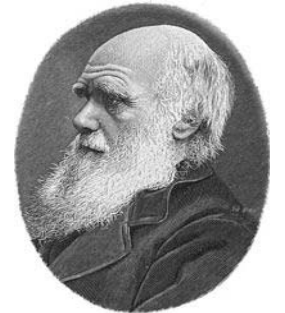
1. Importance du 19ème siècle pour la biotechnologie

Découverte des fondements de la biotechnologie classiques :

- Les fermentations (Louis PASTEUR)



- L'évolution des espèces(Charles Robert Darwin



- La génétique(Johann Gregor Mendel)



2. Les deux subdivisions dans la biotechnologie

➤ Les biotechnologies classiques sous-tendues par :

- ✓ Les techniques de fermentation (obtention de divers produits alimentaires, énergétiques, etc)
- ✓ Les techniques de sélection des souches (obtention des souches plus performantes, etc.)
- ✓ Les techniques de génies enzymatiques (bioconversion)
- ✓ Les techniques de sélection variétale à travers le transfert des caractères par des croisements dirigés ou la multiplication par vitro-plants ou culture de tissu (culture in vitro, micro propagation, bouturage, etc.)



2. Les deux subdivisions dans la biotechnologie

➤ **Les biotechnologies modernes, basées sur la manipulation du DNA et sous-tendues par:**

- ✓ Les techniques de génie génétique
- ✓ Les techniques de clonage des gènes et leur identification
- ✓ Les nanotechnologies en générale
- ✓ La génomique (déchiffrage des génomes)
- ✓ La protéomique (technologie des protéines)

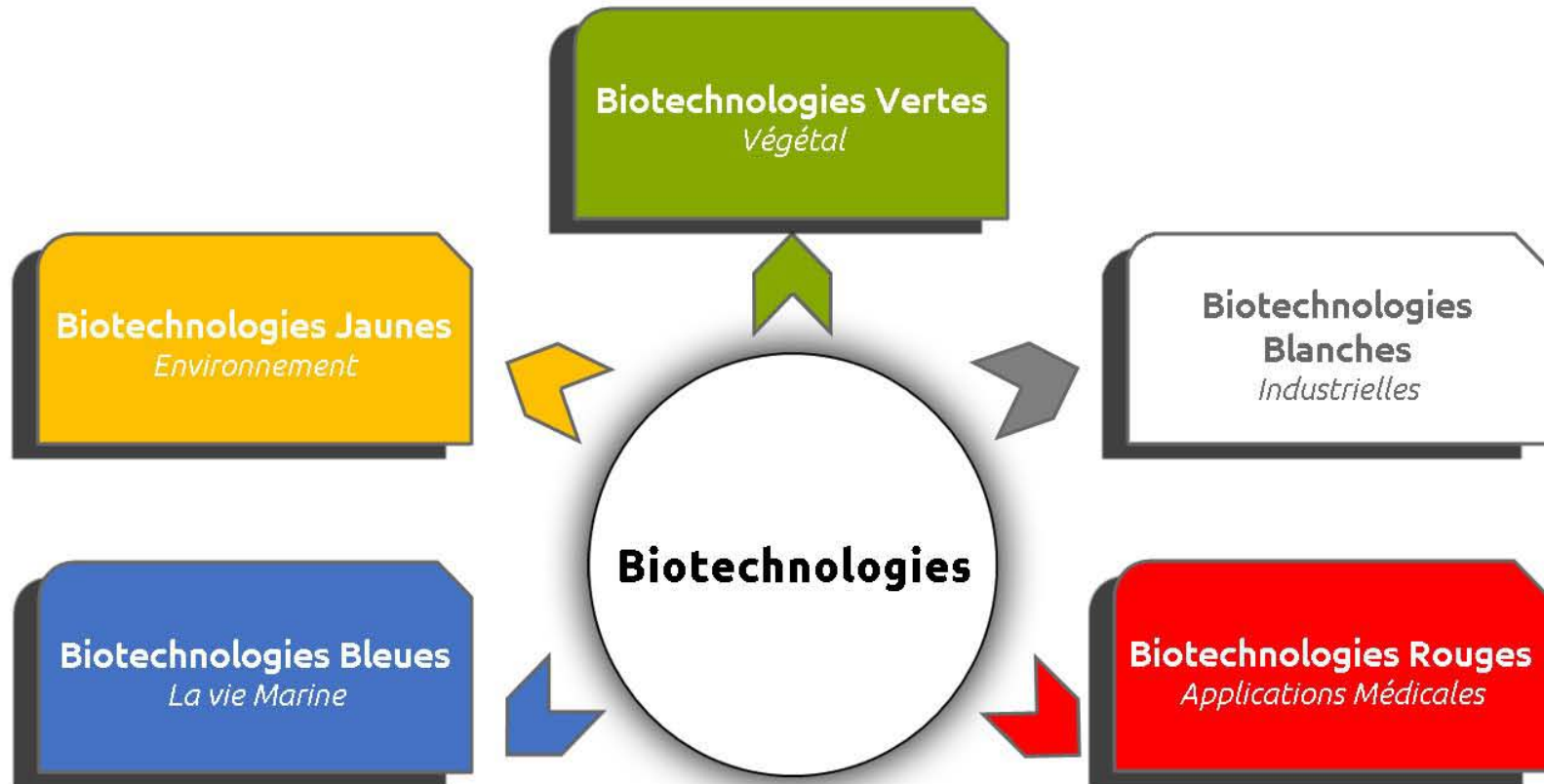


2. Les deux subdivisions dans la biotechnologie

➤ Les typologies des biotechnologies, issues des deux subdivisions de la biotechnologie:

- 1- Biotechnologie de première génération : fondée sur la maîtrise des techniques métaboliques de fermentation et de transformation des substrats.
- 2- Biotechnologie de deuxième génération : fondée sur l'étude de la transmission des caractères entre espèces du même genre .
- 3- Biotechnologie de dernière génération : fondée sur la manipulation du gène et son transfert en dehors de l'espèce (notion de gène voltigeur dans le ciel de la biologie): elle pose des problèmes de biosécurité

3. Les différents types de biotechnologies

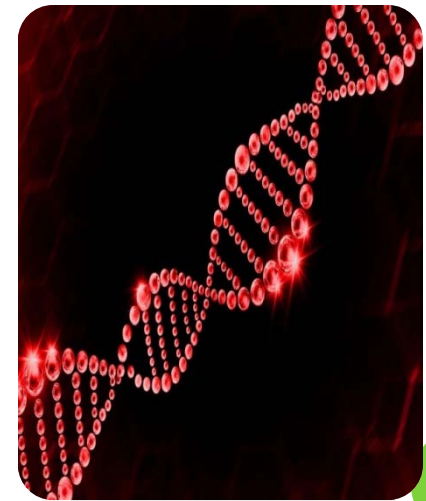


La biotechnologie "rouge"

DEFINITION: concerne les procédés utilisés dans le domaine de ma santé (humaine et vétérinaire), en particulier l'industrie pharmaceutique. La biotechnologie rouge a pour objectif : La prévention , le diagnostic ou le traitement des maladies.

EXEMPLES:

- Vaccins
- Les Anticorps monoclonaux
- Les protéines recombinantes.
- Anticancéreux
- ...etc



La biotechnologie « verte » :

DEFINITION : Les biotechnologies vertes reposent sur un vaste ensemble de techniques de recherche en biologie végétale, techniques de culture *in vitro* ou techniques moléculaires telles que mutation, transgénèse, etc.,

OBJECTIFS:

- ouvrir des pistes pour relever les défis posés à l'agriculture.
- assurer la production alimentaire et énergétique tout en préservant l'environnement.
- L'amélioration et la santé des plantes,
- la production de biomatériaux et de biocarburants.

EXEMPLE:

- Industrie agro-alimentaire: fromages, céréales,...
- Amélioration génétique des plantes PGM,...
- Clonage, élevage
- Biopesticides



La biotechnologie blanche (Grise)

DEFINITION : relative aux processus industriels par l'emploi de systèmes biologiques comme alternatives aux procédés chimiques.



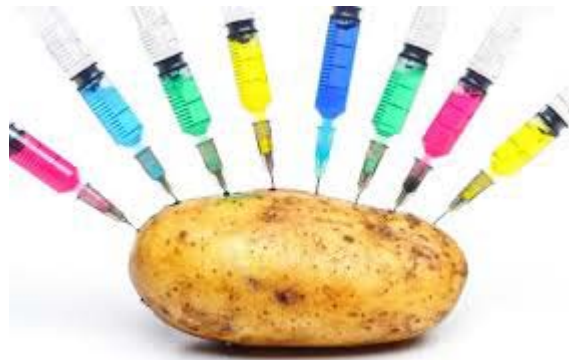
EXEMPLE:

- **Fibres textiles**
- **Biopolymères**
- **Biocarburants**
- **Biosolvants**

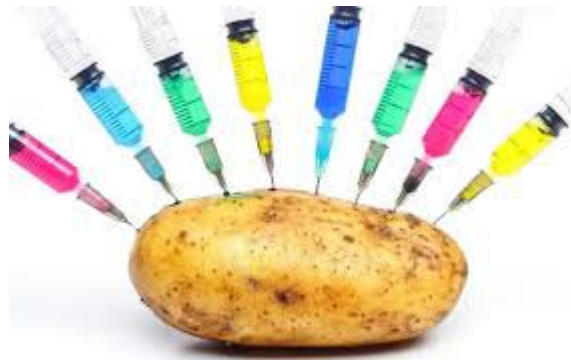
4. Les produits types de biotechnologies.

Les OGM

Les organismes génétiquement modifiés, ou OGM, sont des « *organismes vivants dont le patrimoine génétique a été modifié par intervention humaine* ». Cette technique, appliquée d'abord aux bactéries, puis aux animaux et aux plantes, consiste à isoler un gène d'un organisme, puis à l'intégrer dans le génome d'un autre organisme pour en modifier les caractéristiques.



Les **plantes transgéniques** (**plantes génétiquement modifiées PGM**) sont souvent conçues dans le but d'augmenter la résistance de ces végétaux contre les parasites ou leur rendement. En ce qui concerne les animaux, **la transgénése** peut être appliquée à des fins de recherche médicale ou pour « améliorer » leurs caractéristiques physiques.



4. Les produits types de biotechnologies.

➤ Dans le domaine de la santé

➤ 1. Les médicaments et vaccins

Certains médicaments provenant du secteur de la biotechnologie sont composés **d'organismes vivants** ou aussi de **composants cellulaires** comme les chercheurs l'ont constaté avec l'insuline humaine, l'hormone de croissance ou encore **des anticorps**.

➤ *La première application a été la production de vaccins et d'antibiotiques.*



Les biotechnologies permettent par exemple de remplacer des produits extraits d'organes humains ou animaux par des molécules produites par **génie génétique**.

EXEMPLE

Création de l'insuline grâce a la biotechnologie

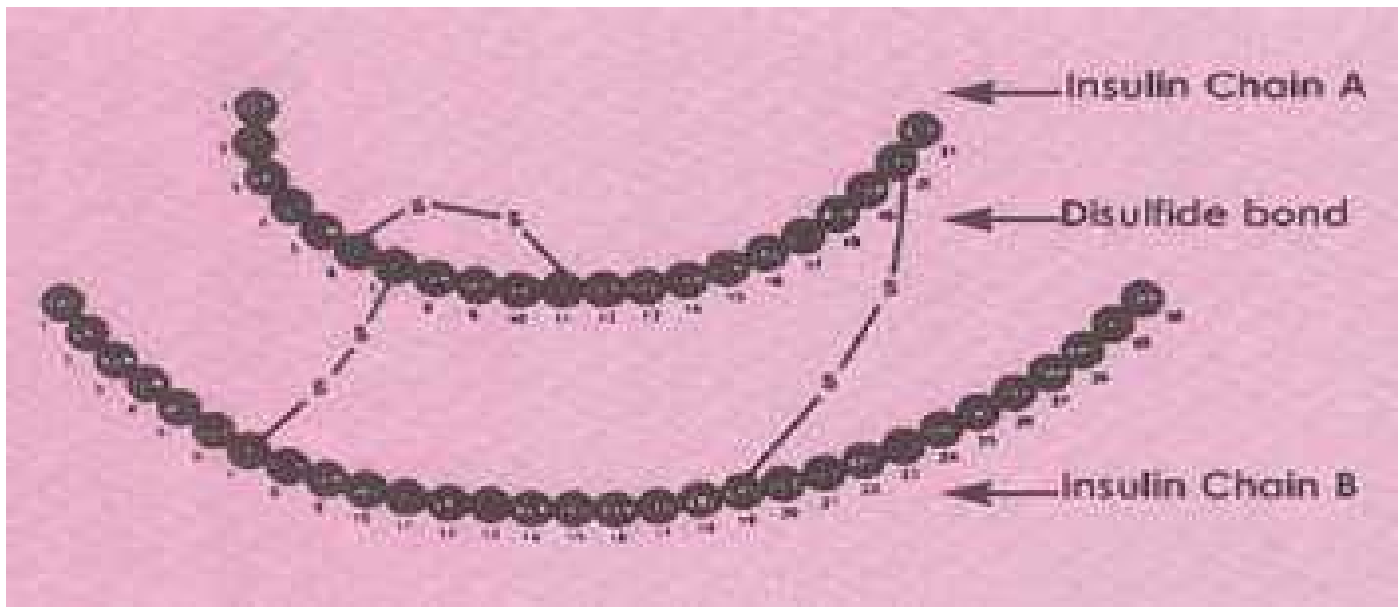
➤ Par définition, l'insuline est une hormone hypoglycémisante, fabriquée par les îlots Langerhans du pancréas. Chez une personne non diabétique, l'insuline est sécrétée en petite quantité 24h/24.

➤ L'insuline fut retirée pour la première fois chez le pancréas de vache autours des années 1920. Les médecins et chercheurs ont remarqués que la source d'insuline chez cet animal pouvait être efficace chez un être humain.

➤ Dans les années 80, une version synthétique du gène de l'insuline humaine a été introduite dans la bactérie *Escherichia Coli*.

LA STRUCTURE DE L'INSULINE

- *Chimiquement, l'insuline est une petite et simple protéine. Elle se compose de 51 acides aminés, dont 30 constituent une chaîne polypeptidique, et les 21 restant composent la deuxième chaîne. Les deux chaînes sont liées par des ponts bi sulfurique.*



La structure de l'insuline.

Tout d'abord nous savons que l'insuline est une hormone produite par le pancréas de toute être humain sain. Chaque personne ne produisent pas le même taux d'insuline et ont par conséquent un taux de sucre élevé. Ces individus sont considérés comme des personnes diabétiques.

Comment fabrique t-on alors l'insuline humaine ?

Voici une description simplifié du processus



1. on doit isoler le programme génétique (ADN) de quelques cellules humaines.

2. A l'aide des enzymes de restriction appropriées, on sépare le gène de l'insuline qui sera inséré plus tard dans une bactérie ou un micro-organisme.

3. On prélève sur la bactérie un matériel génétique qui s'appelle **plasmide** que l'on prélève grâce à des enzymes identiques de restriction à une place bien précise.

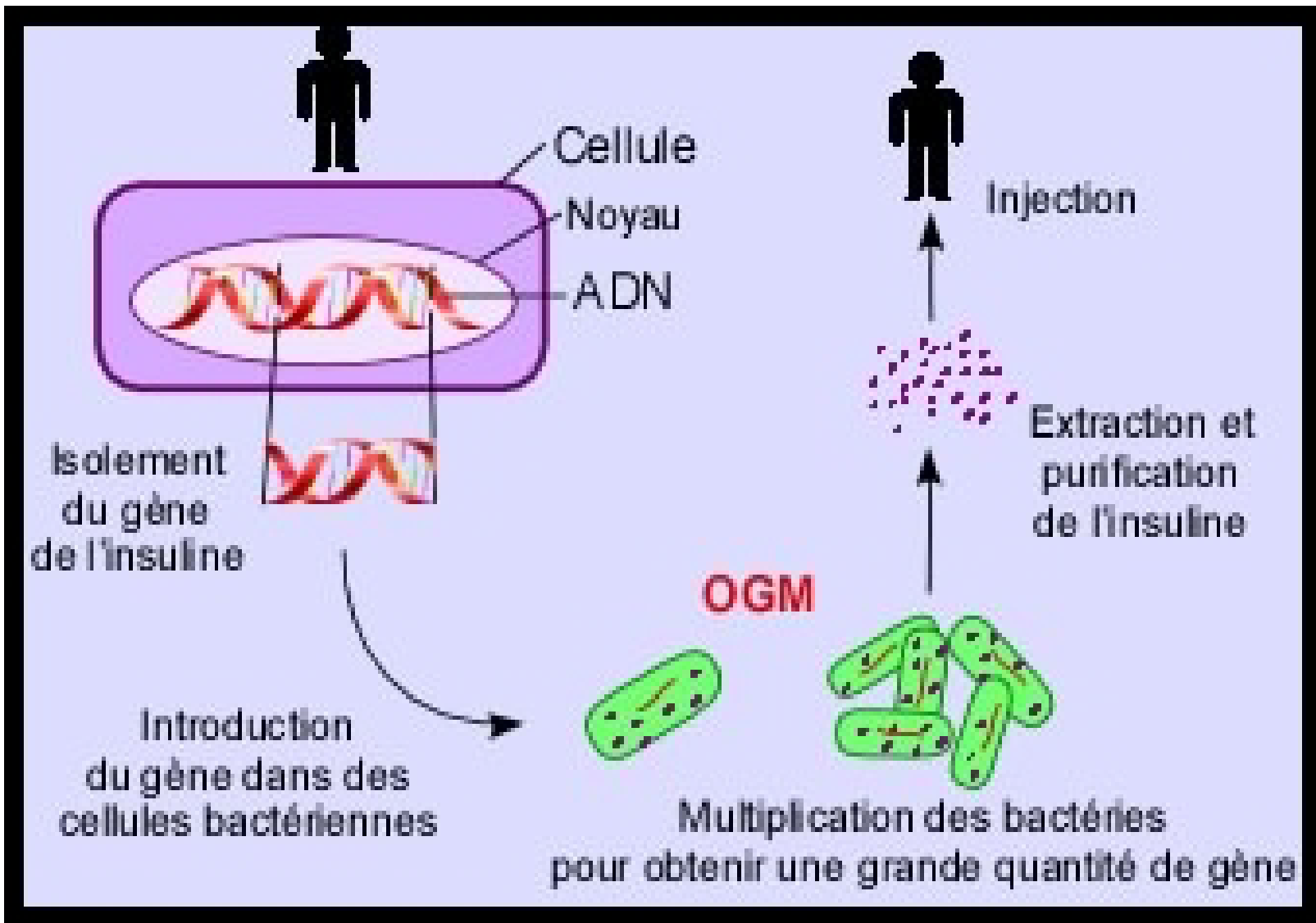
4. le gène de l'insuline ainsi que le plasmide bactérien sont dit « **recollé** » par **des ligases** qui ressoudent les deux morceaux d'ADN ensemble.

5. le nouveau plasmide est réinséré dans la bactérie du début et il va donc se diviser (se multiplier).

6. Une fois le transfert réussi, la bactérie produit beaucoup de protéine qui vont être les mêmes que l'insuline humaine.



➤ Pour la production de grandes quantités d'insuline, la division d'insuline s'effectue dans une cuve surnommée « **fermenteurs** ». L'insuline est alors opérationnelle pour combattre le diabète chez l'être humain.



Schématisation de la synthèse de l'insuline

4. Les produits types de biotechnologies.

➤ Dans le domaine de la santé

➤ 2. LES MATÉRIAUX D'ORIGINE BIOLOGIQUE (MOB)

Ce sont des substances ou molécules fabriquées naturellement ou par un procédé biologique.

L'origine peut-être bactérienne, végétale ou animale.

➤ 2.LES MATÉRIAUX D'ORIGINE BIOLOGIQUE (MOB)

Ces matériaux peuvent être :

- ❖ Des fibres (soie d'araignée, collagène, cellulose bactérienne pour les pansements, la peau artificielle ou les implants).
- ❖ Des gels (latex, polysaccharides pour les lentilles ophtalmiques, les pansements, la peau artificielle).
- ❖ Des matériaux "massifs" (corail, nacre, céramiques pour des prothèses, des substituts osseux).

4. Les produits types de biotechnologies.

➤ **DANS L'ALIMENTATION (HUMAINE ET ANIMALE) :**

- Production d'aliments ou animaux génétiquement modifiés soit :
 - **Pour l'amélioration de produits existants :**
 - - Production de raisins et d'agrumes sans pépins
 - - Développement de fruits et légumes contenant des taux élevés d'antioxydants
 - **Pour la création de nouveaux produits :**
 - - Identification des composants actifs du lait et des gènes associés puis modification du patrimoine génétique des vaches laitières afin qu'elles produisent plus de ces composants dans leur lait.
 - Une des applications : un lait à facteur de coagulation pour des hémophiles.

➤ **DANS L'ALIMENTATION ANIMALE :**

- Amélioration des qualités nutritionnelles des végétaux,
- obtention de plantes pauvres en lignine : pour améliorer la santé du bétail, être plus facile à digérer ou à mâcher par les ruminants.

4. Les produits types de biotechnologies.

➤ DANS L'ENVIRONNEMENT

- Les biotechnologies environnementales concernent la préservation de l'environnement, l'amélioration des processus énergétiques, les matières premières (nouveaux procédés, dépollution, économie d'énergie, énergie de substitution).

EXEMPLE : PRODUCTION DES BIOCARBURANTS :

Un **biocarburant** parfois appelé **agro carburant** est un carburant issu de la biomasse, c'est-à-dire obtenu à partir d'une matière première végétale, animale ou de déchets). Les biocarburants sont en général mélangés à des carburants d'origine fossile.

Il existe principalement deux filières industrielles :

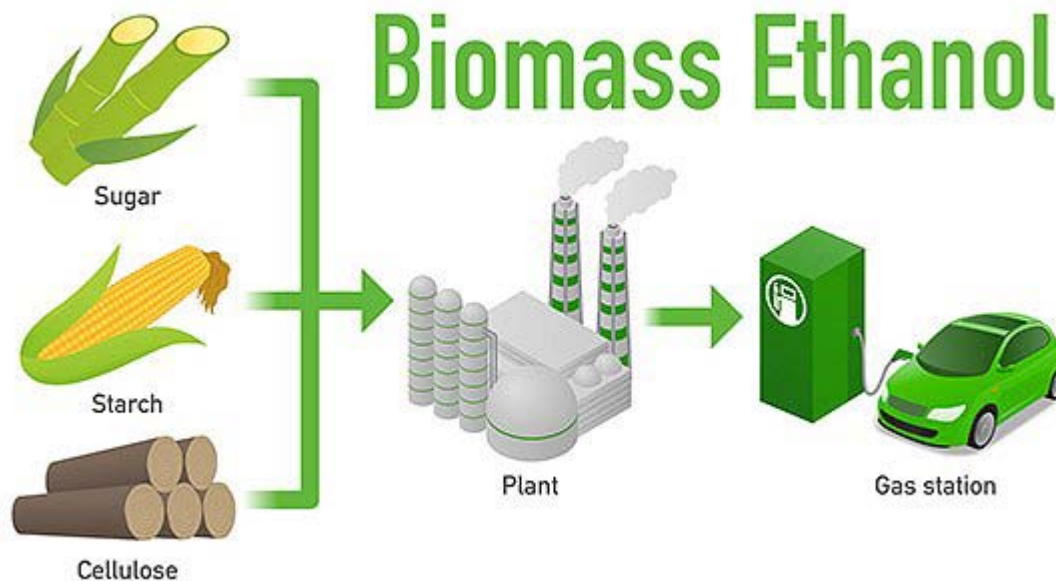
- l'éthanol et le biodiesel. Ils peuvent être utilisés purs comme au Brésil (éthanol) ou en Allemagne (biodiesel), ou comme additifs aux carburants classiques.
- L'éthanol est produit en France à 70 % à partir de la betterave, et à 30 % à partir de céréales.
- Le biodiesel est issu des graines oléagineuses (colza, tournesol).



- Produits à partir de biomasse, ces biocarburants présentent 2 avantages :

- -une réduction des émissions de gaz polluants (qui ont un impact sur la santé, la végétation, les bâtiments et l'effet de serre)

- - la préservation des ressources naturelles fossiles non renouvelables.



- Aujourd'hui deux types de biocarburants peuvent être incorporés aux carburants fossiles :
 - -Les alcools et leurs dérivés (méthanol, éthanol).
 - -Les esters et leurs dérivés (EMC).

Exemple comparatif : la production d'éthanol

En cycle complet, production, transfert et consommation :

-1 litre d'essence = 3,1 kg de CO₂

-1 litre d'éthanol (production chimique) = 2,3 kg de CO₂

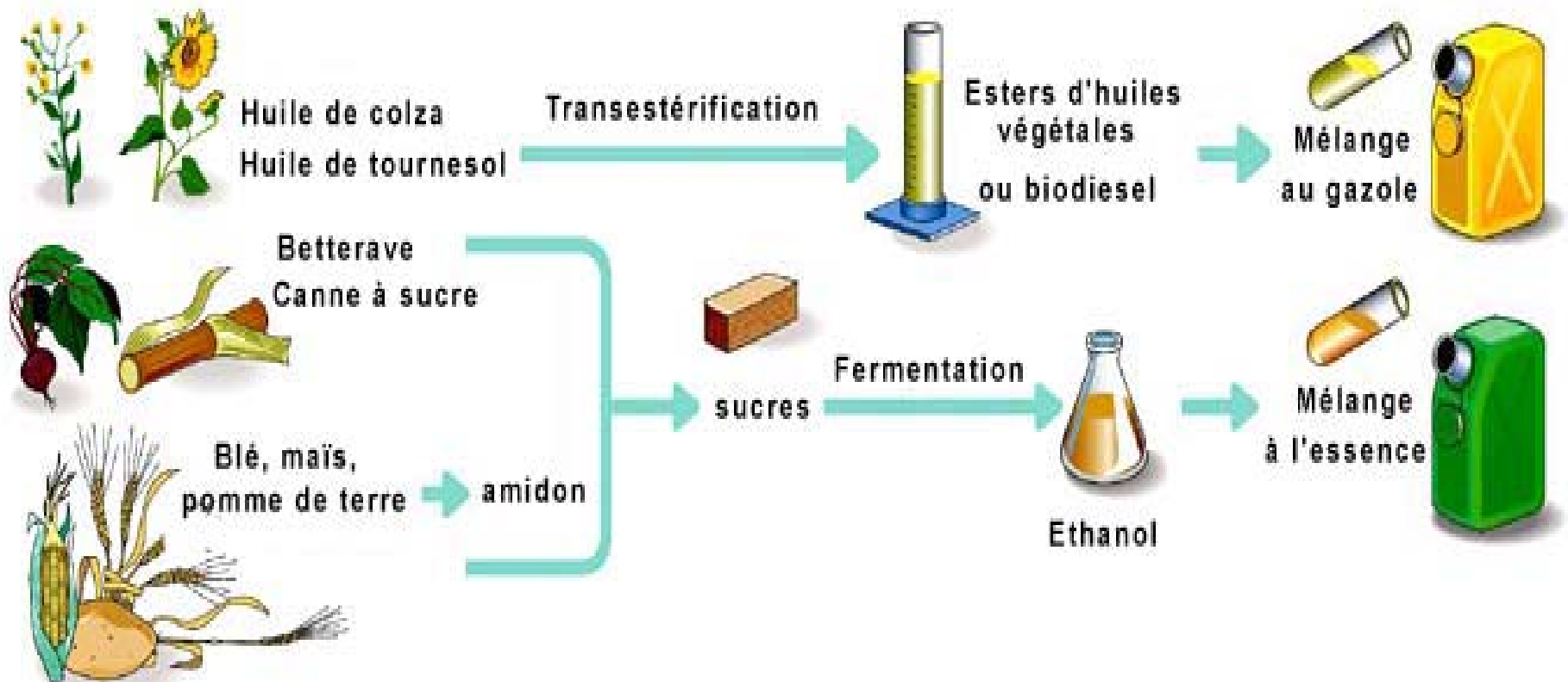
-1 litre d'éthanol (production biotechnologie) = 15 g de CO₂

COMBUSTIBLES ET PRODUITS ORGANIQUES COMME ALTERNATIVE AU PÉTROLE

- Le pétrole est une matière première non renouvelable, ce qui signifie que son usage incontrôlé ou croissant est limité. La biotechnologie utilisant quant à elle des matières renouvelables, son usage contrôlé peut s'étendre à l'infini
- ***En cas d'épuisement du pétrole, la biotechnologie peut donc apporter deux solutions :***
 - De nouveaux combustibles
 - une source alternative de produits organiques.

➤ L'utilisation des déchets de la fabrication du sucre de canne pour obtenir de l'alcool est un exemple de procédé entraînant des économies d'énergie.

LES FILIÈRES CLASSIQUES



5. DOMAINES INDUSTRIELS CONCERNÉS.

○ *Les entreprises utilisent la biotechnologie industrielle pour :*

- réduire leurs coûts,
- augmenter leurs bénéfices,
- augmenter la qualité de leurs produits,
- optimiser leur procédé et son suivi,
- améliorer la sécurité et l'hygiène de la technologie,
- respecter la législation sur l'environnement.

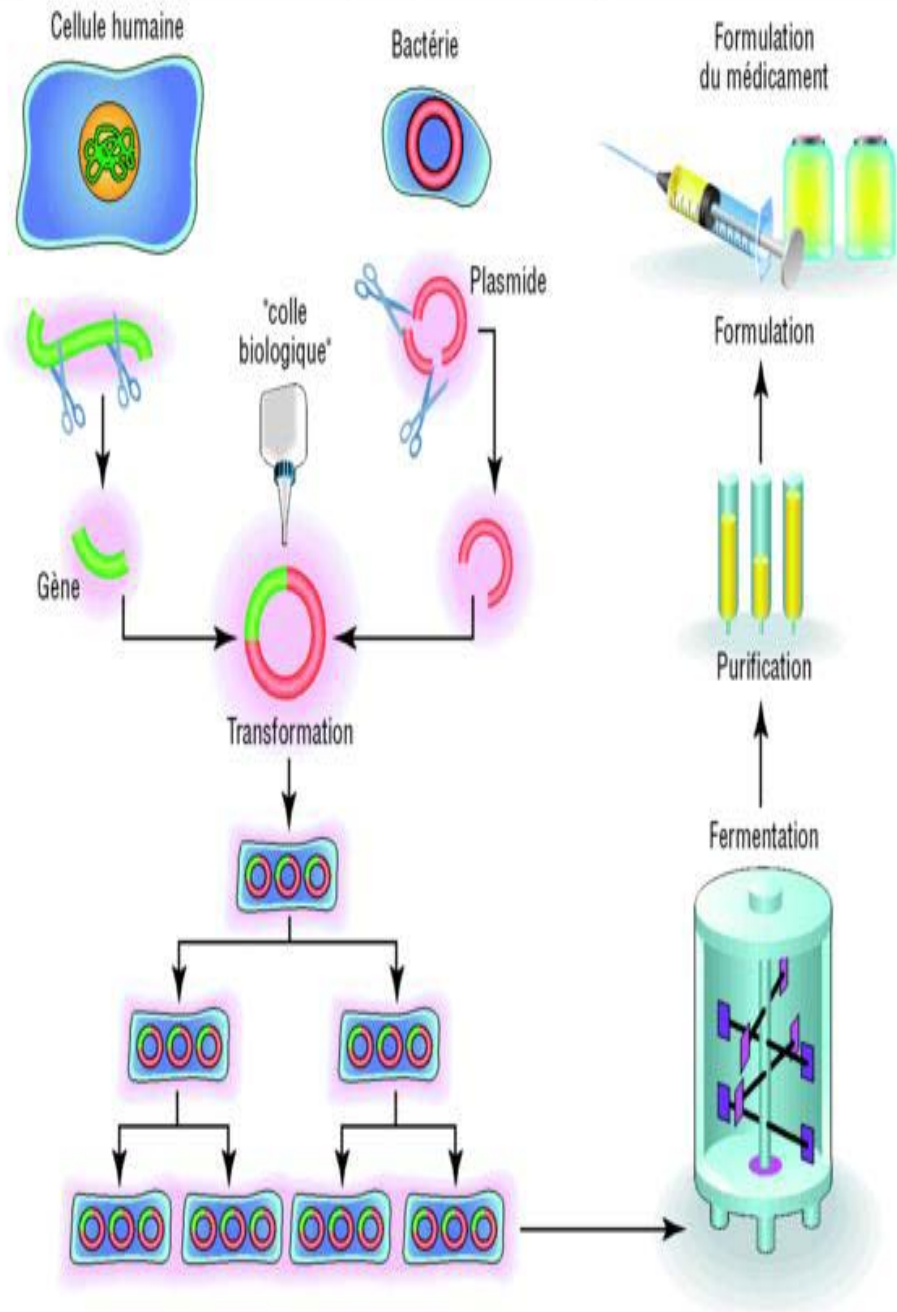
5. DOMAINES INDUSTRIELS CONCERNÉS.

➤ Industrie pharmaceutique:

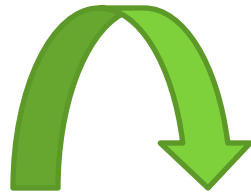
➤ Usage de la biocatalyse pour produire de nouveaux composés, réduire les sous-produits et améliorer la pureté, le temps de production....

➤ Production de biomolécules=protéines recombinantes(ex: insuline, cytokines)par génie génétique (technique de l'ADN recombinant.

La production de protéines thérapeutiques via la technique de l'ADN recombinant



La technologie de l'ADN recombinant



- il est aujourd'hui possible de **séparer le gène** responsable de la modification de la production de certaines substances, de **le transférer** dans un autre **organisme-hôte** et de produire ainsi certaines protéines utiles de manière plus efficace.

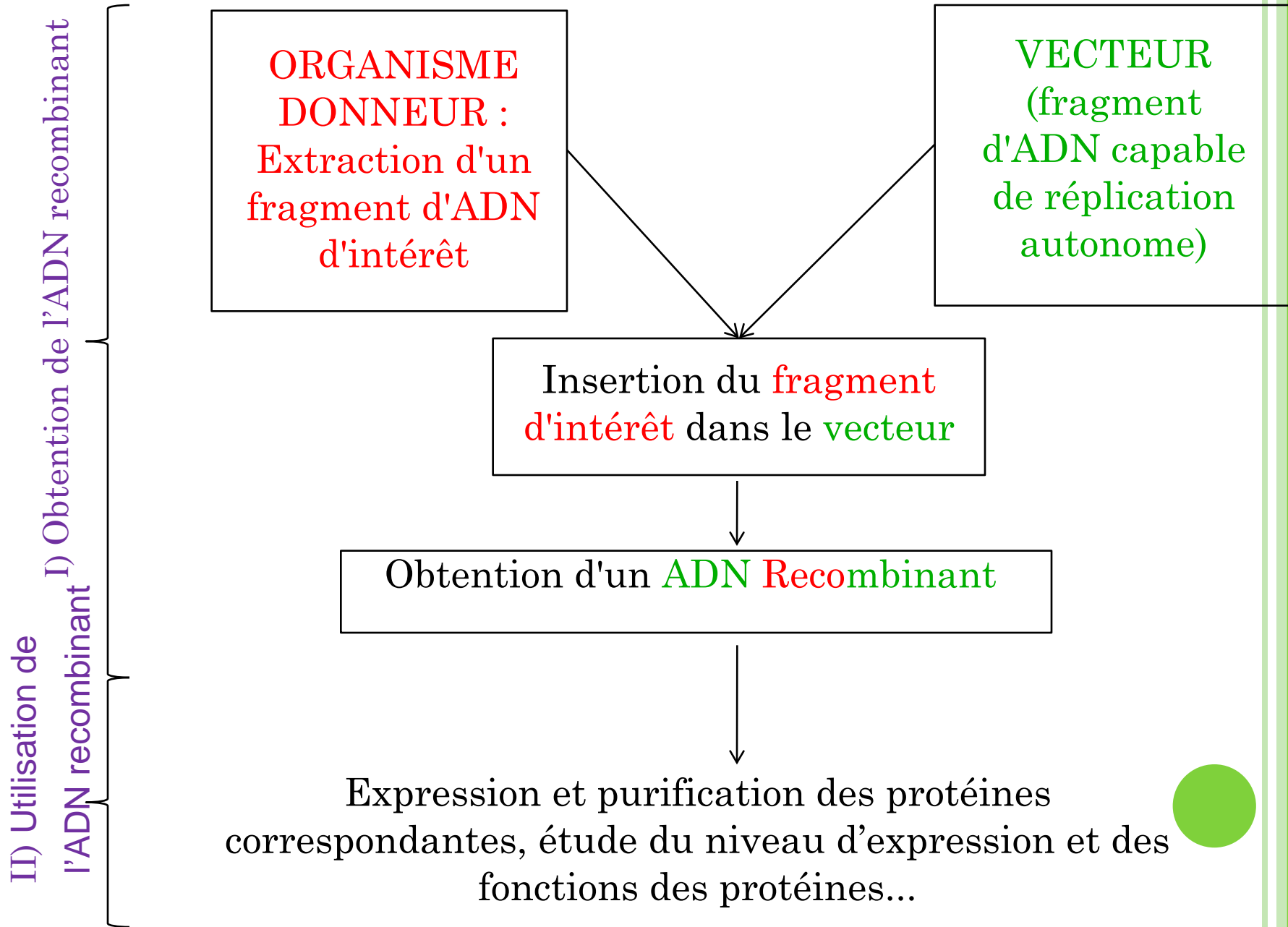
La technique de l'ADN recombinant:

Consiste à introduire un gène d'intérêt= transgène (ex: gène insuline humaine) et à le faire exprimer dans un microorganisme (ex: bactérie E. Coli)=organisme transgénique.

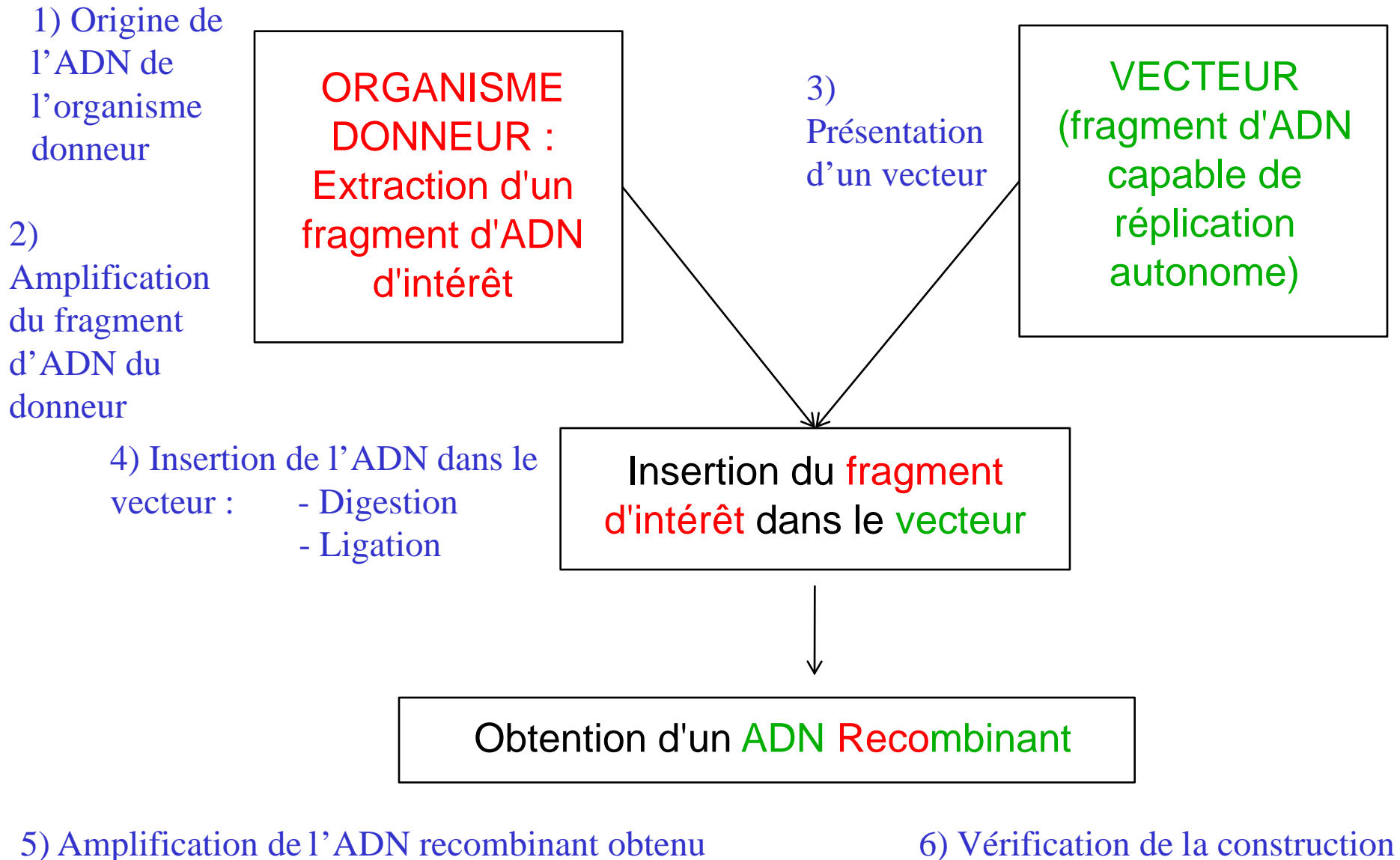


- **Le génie Génétique (technologie de l'ADN recombinant)**
c'est l'ensemble des techniques de construction d'un ADN recombinant et ses utilisations.

Principe de la technologie de l'ADN recombinant



I) Obtention de l'ADN recombinant



5.DOMAINES INDUSTRIELS CONCERNÉS.

➤ Industrie du plastique :

- ✓ Fabrication de plastiques issus de cultures renouvelables(maïs,soja...)
- ✓ Les produits biodégradables sont naturellement décomposés par des microorganismes.



➤ Industrie du papier:

- ✓ Usage d'enzymes pour réduire l'utilisation d'agents blanchissants,
- ✓ Culture d'arbres transgéniques en vue de réduire le % de lignine et améliorer la blancheur du papier.

➤ Industrie du textile :

➤ Diminution des sous-produits toxiques lors de la teinture du tissu

Ex: les jeans délavés utilisent des enzymes issus d'organismes génétiquement modifiées (amylase et cellulase).



Fibres textiles écologiques

➤ Industrie cosmétique :

il est possible de lutter contre le vieillissement prématuré grâce à des **défenses antioxydantes**.

Il existe deux types d'antioxydants :

- ✓ les antioxydants naturellement présents dans notre organisme,
- ✓ les antioxydants apportés par notre alimentation, qui comprennent les vitamines C et E, les caroténoïdes, le sélénium et les polyphénols par exemple.



les biotechnologies inspirent notamment du végétal.

6. Les grands enjeux des biotechnologies



✓ Secteur de la santé

Le projet du génome humain

- Les recherches sur la fonction des gènes humains et de contrôle des facteurs qui régulent les gènes (séquences régulatrices : *enhancer/silencer*).

Aire de la thérapie génique

- Remplacement des gènes défectueux par des copies normales du gène.

Aire de la médecine génératrice

- Elle vise à restaurer les tissus et les activités fonctionnelles, à remplacer des cellules déficientes ou à reconstituer des organes détruits (repose sur l'utilisation de cellules souches).

Les cellules souches (CS) : cellules immatures qui se divisent et se différencient pour produire différents types de cellules.

✓ Secteur de l'environnement

- Dépollution de l'environnement (eau, air, sol)
- Production de biocarburants/bio gaz et biocomposés



✓ Secteur agroalimentaire:

- Généraliser la transgénèse pour les plantes et les animaux:

Augmentation de la production, de la taille, du temps de la conservation ,de la résistance, améliorer la qualité nutritionnelle....).



7. Les risques liés aux biotechnologies

Santé humaine

- ✓ Risques liés à la consommation d'OGM (allergies, augmentation de la toxicité de la plante,....)

Environnement

- ✓ Déséquilibre des écosystèmes
- ✓ Contamination de l'environnement (herbicides , pesticides).
- ✓ Création de mauvaises herbes résistantes
- ✓ Création d'insectes résistants

Economie

- ✓ La crainte des personnes à consommer les OGM et leur produits dérivés..

CHAPITRE II
BIOTECHNOLOGIES APPLIQUÉES AUX
PROBLÉMATIQUES ENVIRONNEMENTALES.

1.CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ÉVOLUTION DES ÉCOSYSTÈMES.

✓ En biologie, **un écosystème** est un système qui se compose d'un ensemble d'organismes vivants, **la biocénose**, et de l'environnement physique où ils vivent, **le biotope**. Un écosystème est une unité composée d'organismes interdépendants qui partagent le même habitat.

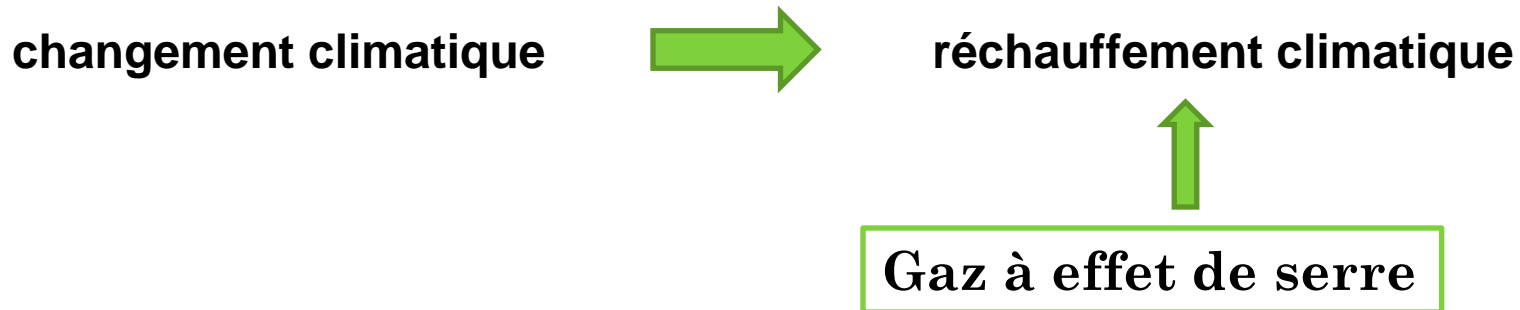
Le biotope: environnement physique particulier avec des caractéristiques physiques spécifiques(température ,humidité, climat).

La biocénose: ensemble d'êtres vivants(animaux, végétaux ,micro-organismes)en interaction= en interdépendance

✓ *Les écosystèmes sont en état de changement continuels. Certains changements sont naturels tandis que d'autres sont le résultat de l'intervention humaine.*

1.CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ÉVOLUTION DES ÉCOSYSTÈMES.

- Un **changement climatique**, ou **dérèglement climatique**: correspond à une modification durable du climat global de la Terre .
- Ces changements peuvent être dus à des processus intrinsèques à la Terre, à des influences extérieures ou, plus récemment, aux activités humaines.

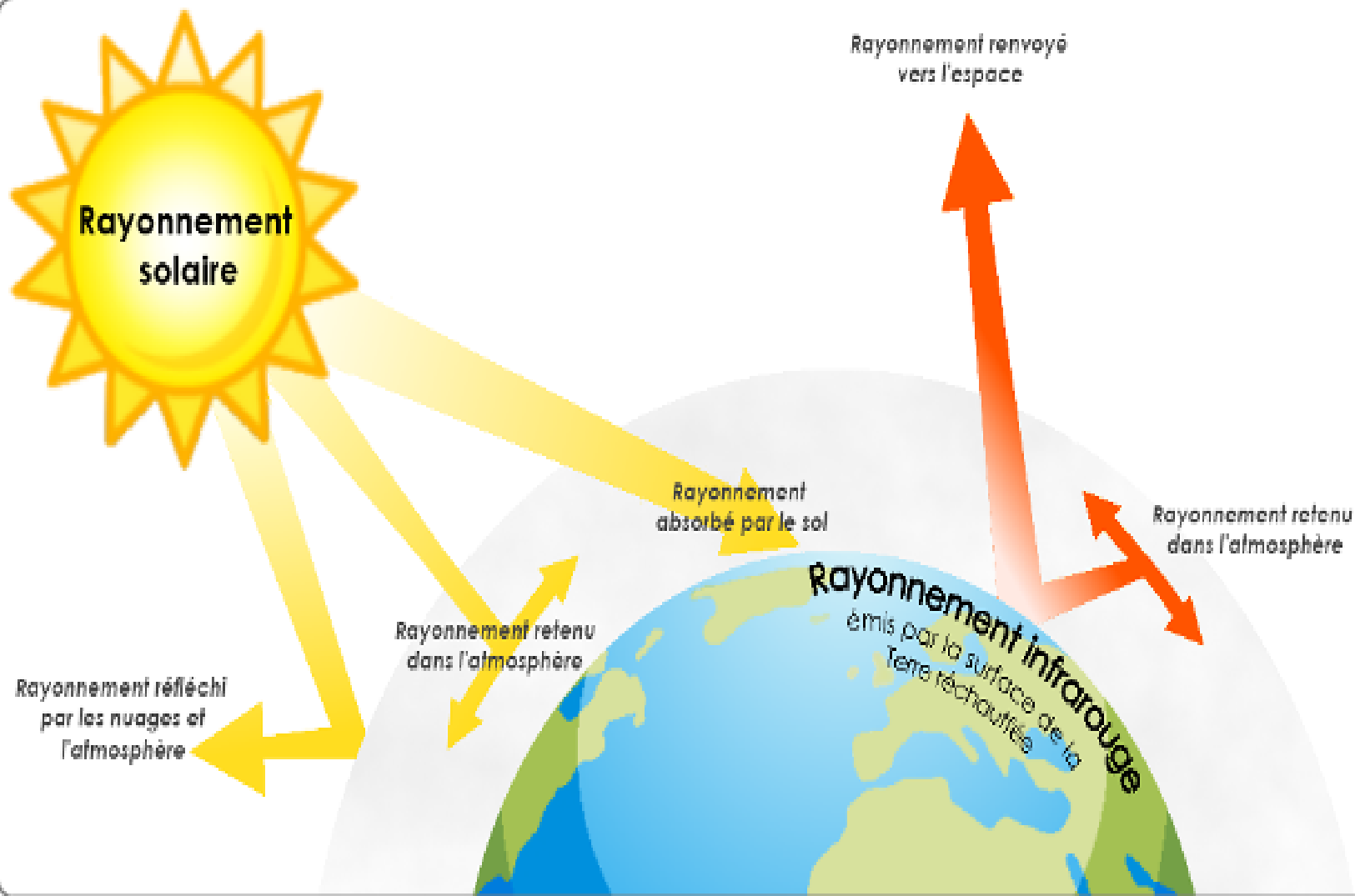


- L'effet de serre est un phénomène physique naturel (Processus de réchauffement naturel de l'atmosphère) .

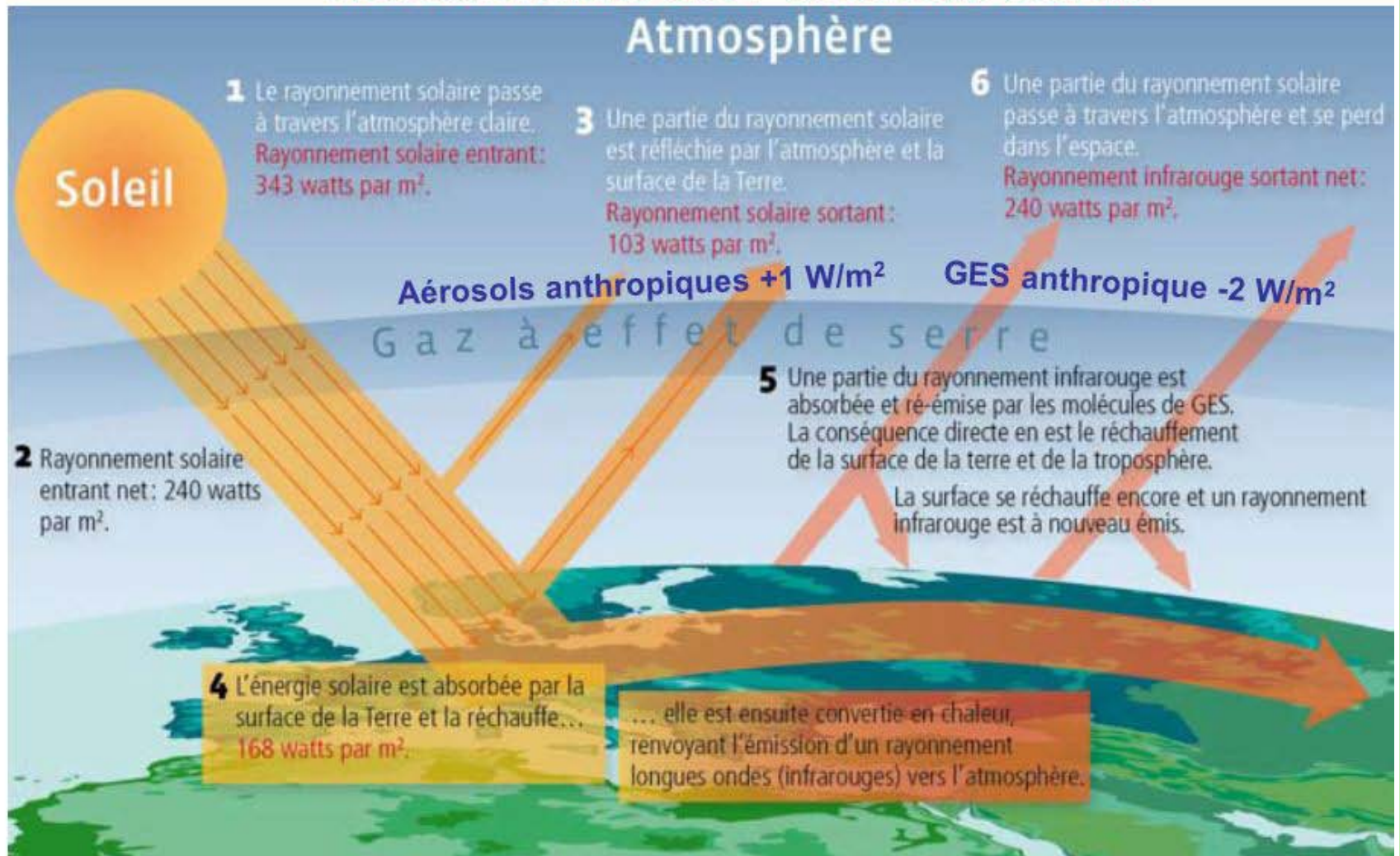


- **Les gaz à effet de serre (GES)** : sont des composants gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuent à l'effet de serre.
- L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs à l'origine du réchauffement climatique.

Le mécanisme de l'effet de serre



Mécanisme de l'effet de serre



○ *Afin de **réduire** les émissions de gaz à effet de serre et à **adapter** le comportement des grandes industries au changement climatique. Pour cette raison Il faut :*

➤ **Augmenter les rendements sur les terres déjà cultivées .**

➤ **Une réduction de l'émission de gaz à effet de serre (GES).**

➤ **L'utilité des plantes tolérantes aux herbicides.**

➤ **La recherche /commercialisation des plantes tolérantes à la sécheresse.**

2. POLLUTION AGRO- ENVIRONNEMENTALES (EAU, AIR, SOLS)

La pollution est l'introduction dans un milieu de substances naturelles ,chimiques ou radioactives, de déchets (domestiques ou industriels) susceptibles d'avoir des effets indésirables ou toxiques sur l'homme et son environnement.





➤ La pollution de l'eau



LA POLLUTION



➤ La pollution des sols



➤ La pollution de l'air



➤ La pollution de l'eau

Elle a plusieurs origines:

✓ Elle peut tout d'abord être causée par les entreprises qui, pour économiser de l'argent, préfèrent jeter leurs déchets dans les cours d'eau plutôt que de les traiter.

✓ Elle peut également être due à l'agriculture. Afin que les terres soient plus productives, on y ajoute de l'engrais, des insecticides et des herbicides. Pour toutes sortes de raisons, dont la pluie, une grande partie de ces produits se retrouve dans les cours d'eau.

✓ Enfin, l'eau peut être polluée par les eaux usées qui ne sont pas traitées correctement.

➤ La pollution de l'air



Elle est due principalement à :

- ✓ l'activité humaine : gaz d'échappement des véhicules et production industrielle (fumée des cheminées).
- ✓ Elle peut aussi être causée par les produits chimiques qu'on trouve dans les peintures, les meubles et les nettoyants ménagers qu'on utilise dans les maisons.
- ✓ Maladies humaines (asthme, allergies)
- ✓ Réchauffement climatique
- ✓ Trou de la couche d'ozone
- ✓ Pluies acides

➤ La pollution des sols

- ✓ Elle peut être d'origine **industrielle**, par exemple à cause de déversements de déchets chimiques ou **Agricole** (utilisation excessive d'engrais, de pesticides, qui s'infiltrent dans les sols) ou **Domestiques** (Ordures ménagères..)
- ✓ Accumulation de polluants dans les plantes
- ✓ Mort de végétaux et d'animaux



3. GESTION DES RESSOURCES NATURELLES

Notion de développement durable



Développement durable : Le développement durable est la notion qui définit le besoin de transition et de changement dont a besoin notre planète et ses habitants pour vivre dans un monde plus équitable, en bonne santé et en respectant l'environnement.

4. Apport des biotechnologies à la gestion des ressources naturelles

➤ Utilisation de la biotechnologie en industrie

L'utilisation des microorganismes et de leurs composants (Enzymes) en industrie permettent une meilleure gestion de ressources naturelles et de l'énergie et une moindre utilisation des produits chimiques nocifs pour l'environnement.

➤ Production de sources d'énergies renouvelables

- Ex: biocarburants
- Ex : Les biopolymères pour produire des bioplastiques

➤ Dépollution de l'environnement par biotechnologie

Dépollution de l'environnement par biotechnologie

➤ **La dépollution** est l'élimination ou **l'inactivation intentionnelle** d'un polluants (organique, inorganique ex: les métaux lourds) par des agents **chimiques, physiques, ou** **Biologiques.**



la bio-rémediation

LA BIOREMEDIATION

- c'est **un processus** qui utilise **des organismes vivants** en vue de dégrader les contaminants nocifs pour l'environnement présents dans des milieux pollués (sols, eaux, ...) dans l'objectif de les transformer en composés non toxiques.
- c'est **une technique** qui utilise le vivant pour transformer, détruire ou immobiliser des contaminants dans le cadre de la dépollution .
- Elle peut se faire directement dans l'environnement pollué (in-situ) ou après transfert de l'agent polluant (ex-situ).

Les différentes méthodes de bio-remédiation

A) Bio-remédiation du sol

a. Le traitement par épandage ("land farming")

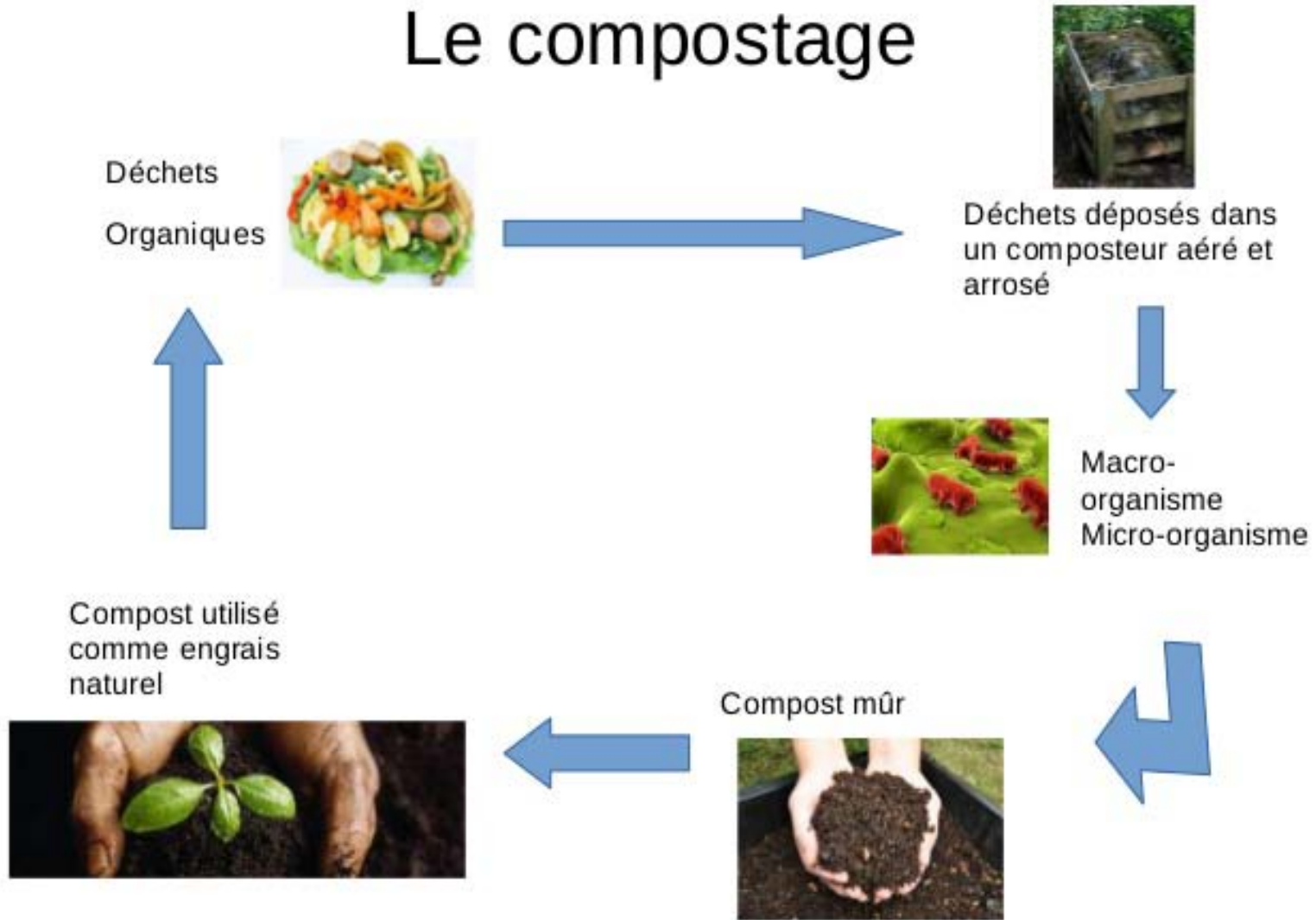
- Cette méthode est surtout utilisée pour traiter des **sols pollués par des déchets pétroliers**. Elle utilise l'**activité dépolluante de la microflore tellurique (présente dans le sol)**.
- Elle se fait de manière *ex-situ*

A) Bio-remédiation du sol

b. Le compostage

➤ C'est **un procédé** qui met en œuvre **des micro-organismes aérobie**s et **thermophiles** utilisés traditionnellement **pour dégrader** des matières organiques et de les **transformer** par **fermentation** en un produit moins volumineux , appauvri en carbone et enrichi en éléments nutritifs et qui peu être **utilisé comme engrais** .

Le compostage



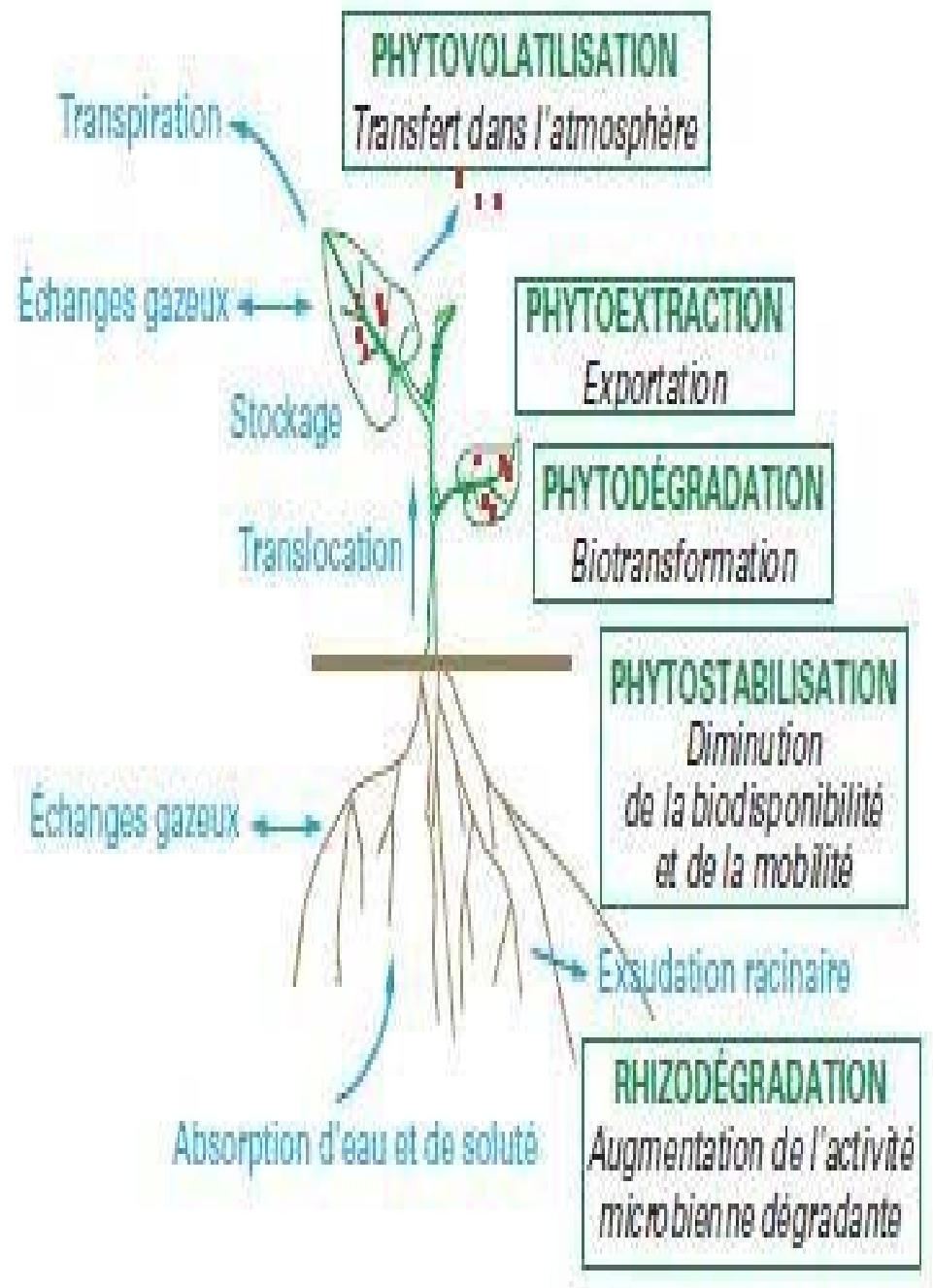
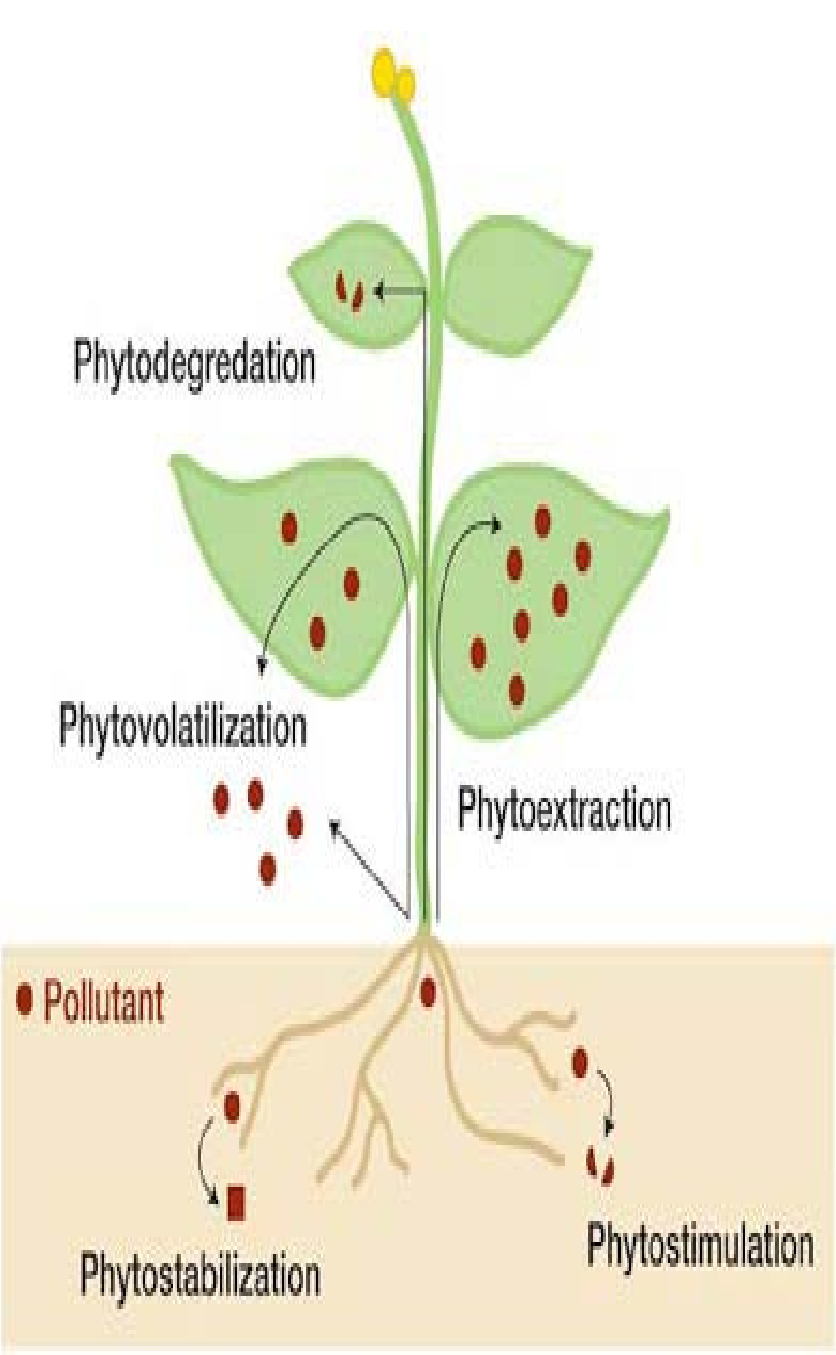
A) Bio-remédiation du sol

c. LA PHYTOREMÉDIATION

- c'est un procédé basé sur l'utilisation **des plantes** pour **dépolluer le sol**.
- ces plantes ont la capacité de fixer dans leurs cellules des polluants présents dans les sols contaminés: elles tolèrent et accumulent des taux extrêmement élevés .

**Les différentes
stratégies / mécanismes**

- PHYTOSTABILISATION
- PHYTOEXTRACTION
- PHYTODÉGRADATION
- PHYTOVOLATILATION



B) Bio-remédiation des eaux usées

Épuration des eaux par traitement biologique



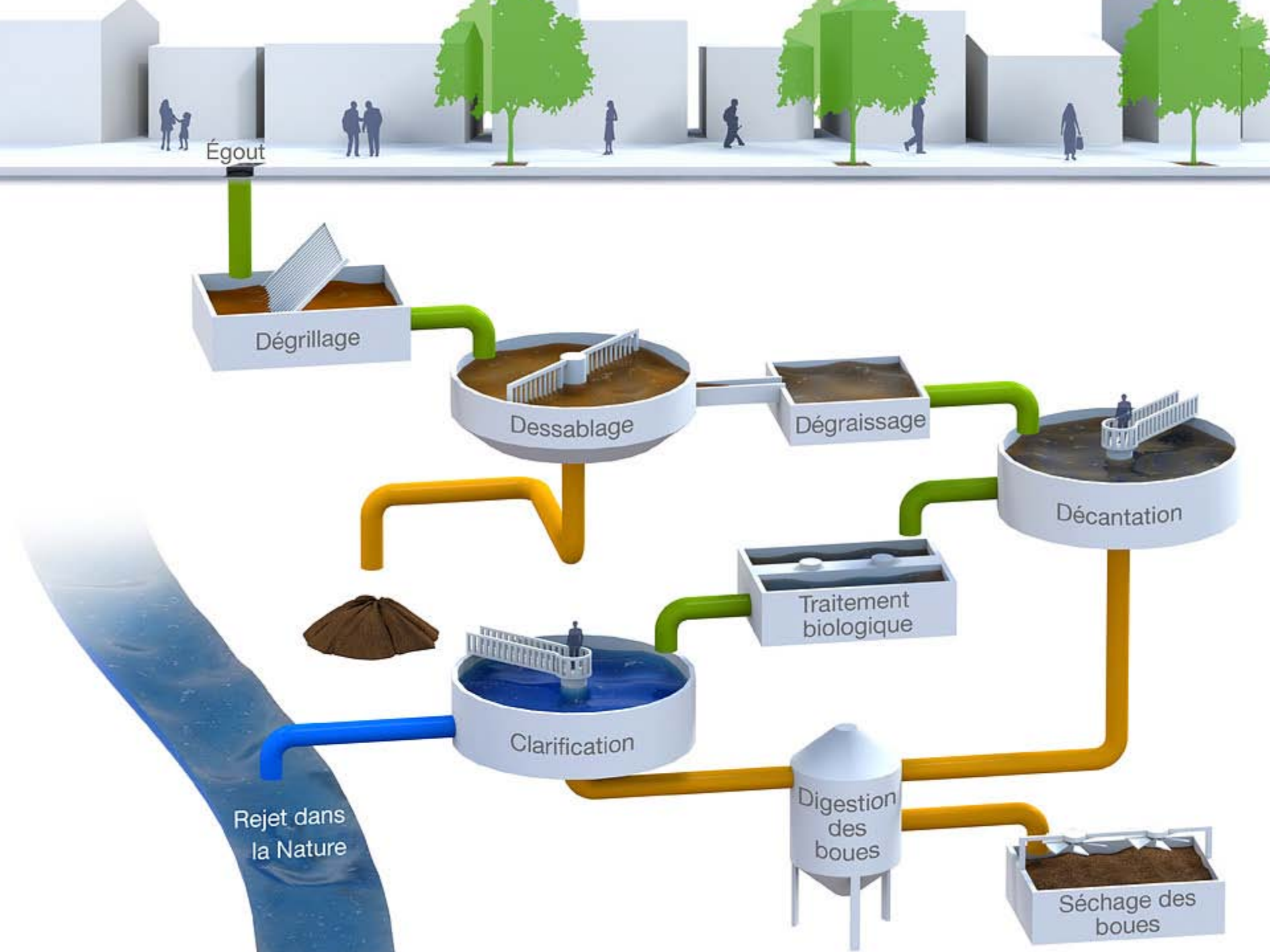
Réacteur aérobie à boues activées



Utilisation de **microorganismes** (en aérobiose) + de la boue dans un bassin aéré = création d'une boue activée.



Dans ce procédé les microorganismes sont mélangés aux boues.



C) Bio-remédiation de l'air

La biofiltration est une **technique biologique** ayant fait l'objet de nombreuses applications industrielles pour la dépollution des gaz ou de l'eau.

Cette technique consiste à forcer le passage du gaz ou de l'effluent à traiter au travers un matériau granulaire sur lequel sont fixés les micro-organismes épurateurs.

La biomasse(micro-organismes) est fixée à un support et enveloppée d'une fine couche d'eau.

Une partie des polluants présents dans les rejets gazeux qui vont traverser le filtre.

- Une partie va se dissoudre dans l'eau → traitement de l'eau.
- Une partie sera décomposée les micro-organismes .

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU BIOFILTRE

