

Chapitre 3 : Techniques de conservation de la biodiversité (Les banques de ressources génétiques : les centres de ressources biologiques et les cryobanques de semences et d'embryons, banques de graines, banques de vitro plants)

1. Introduction

La biodiversité mondiale est aujourd'hui en **fort déclin**, avec un rythme d'extinction des espèces jamais vu depuis des millions d'années (IPBES, 2019). Face à cette crise, il est crucial de mettre en place des **techniques de conservation** efficaces pour maintenir les espèces, les gènes et les écosystèmes dans un état fonctionnel. Ces techniques peuvent être **in situ** (dans les milieux naturels) ou **ex situ** (hors du milieu naturel).

Définitions

- **Conservation de la biodiversité** : ensemble des mesures visant à préserver la diversité des espèces, des écosystèmes et des gènes, tout en assurant leur viabilité à long terme (CBD, 1992).
- **Techniques de conservation** : moyens pratiques et scientifiques appliqués pour atteindre les objectifs de protection et de gestion durable de la biodiversité.

2. Historique de la conservation

□ Période préindustrielle

- Traditions locales (ex. : zones sacrées, interdits de chasse).
- Vision anthropocentrée : la nature comme ressource à exploiter ou à craindre.

□ Fin XIXe siècle – début XXe

- Naissance des premiers **parcs nationaux** (Yellowstone, 1872).
- Vision "préservationniste" portée par John Muir : séparer l'homme de la nature.

□ Milieu XXe siècle

- Reconnaissance des effets négatifs de l'industrialisation.
- Création de l'IUCN (1948), de la CITES (1973), et des premiers inventaires biologiques.

□ Depuis 1992 (Sommet de la Terre de Rio)

- **Biodiversité reconnue comme patrimoine mondial.**
- Intégration du développement durable à la conservation.
- Approche écosystémique, conservation communautaire, implication des populations locales.

3. Grandes catégories de techniques de conservation

3.1. Conservation in situ : dans le milieu naturel

▪ Définition :

Maintien des espèces dans leurs **habitats naturels**, permettant la continuité des processus écologiques.

▪ **Techniques principales :**

Technique	Objectif principal
Aires protégées (parcs, réserves)	Protéger des habitats entiers et la biodiversité associée
Réserves de biosphère (UNESCO)	Allier conservation et développement local
Corridors écologiques	Maintenir la connectivité entre fragments d'habitat
Plans de gestion adaptative	Ajuster la protection selon le suivi écologique
Conservation communautaire	Impliquer les populations locales dans la gestion

▪ **Avantages :**

- Préserve les interactions écosystémiques.
- Favorise la résilience naturelle.
- Moins coûteuse à grande échelle.

▪ **Limites :**

- Vulnérable aux pressions extérieures (braconnage, pollution).
- Conflits d'usage avec les populations locales si mal gérée.

3.2. Conservation ex situ : hors du milieu naturel

▪ **Définition :**

Conservation de composantes de la biodiversité **en dehors de leur habitat naturel**, dans des environnements contrôlés.

▪ **Techniques principales :**

Technique	Exemples / Utilisation
Jardins botaniques	Maintien des plantes menacées
Zoos et aquariums	Programmes de reproduction et d'éducation
Cryoconservation	Conservation de semences, ovules, spermes à très basse T°
Banques de semences (ex : Svalbard)	Stockage à long terme de variétés agricoles et sauvages
Culture in vitro	Multiplication rapide de plantes rares
Réintroduction	Relâcher des espèces élevées ex situ dans la nature

▪ **Avantages :**

- Sauvetage d'espèces en danger critique.
- Conservation du matériel génétique.
- Recherche scientifique et sensibilisation.

▪ **Limites :**

- Coûteuse et artificielle.
- Risque de perte de comportements naturels.
- Réintroduction parfois difficile sans habitat fonctionnel.

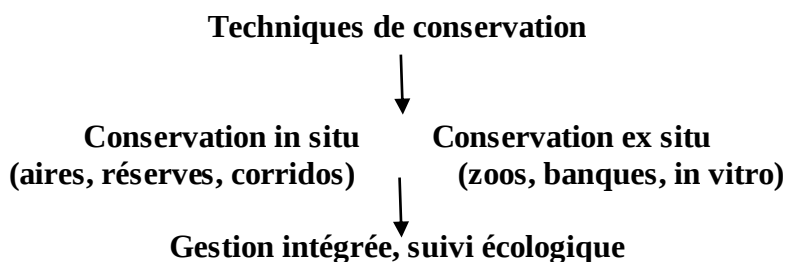


Figure : Complémentarité des techniques

3.3. Approches intégrées modernes

- **Conservation intégrée** : combinaison in situ + ex situ.
- **Approche par les services écosystémiques** : conservation justifiée aussi par le rôle écologique pour l'humain.
- **Conservation basée sur les communautés (CBC)** : participation active des habitants.
- **Technologies modernes** : surveillance par drones, intelligence artificielle pour le suivi, modélisation des populations.

3.4. Études de cas

- *Réintroduction du vautour moine* dans les Grands Causses (France) : ex situ → in situ.
- *Banque mondiale des semences* à Svalbard : conservation des variétés alimentaires du monde entier.
- *Réserves naturelles communautaires* en Afrique de l'Est : modèle de conservation participative.

4. Les banques de ressources génétiques

(Centres de ressources biologiques, cryobanques de semences et d'embryons)

4.1. Introduction

La biodiversité, en tant que source de gènes, d'espèces et d'écosystèmes, constitue un **patrimoine biologique** essentiel à la sécurité alimentaire, à la santé, à la recherche, et à la résilience des écosystèmes. La **conservation génétique** joue un rôle clé dans le maintien de cette diversité. La conservation de la biodiversité ne se limite pas à la protection des espèces dans leurs milieux naturels. Il est aussi crucial de **préserver le patrimoine génétique** des espèces, en particulier celles menacées ou présentant un intérêt pour l'agriculture, l'élevage, la médecine ou la recherche. Les **banques de ressources génétiques** jouent un rôle stratégique dans cette conservation **hors du milieu naturel (ex situ)**.

À ce titre, les **banques de ressources génétiques** sont des instruments stratégiques pour :

- Préserver la **diversité biologique** menacée.
- Fournir des ressources pour la **restauration écologique**, l'**agriculture** et la **médecine**.
- Appuyer les programmes de recherche et d'amélioration génétique.

Rôle et enjeux

- Une **banque de ressources génétiques** (aussi appelée « génobanque » ou « biobanque » selon le type) est une infrastructure destinée à la **conservation ex situ** des divers matériels biologiques porteurs de biodiversité (germoplasme, semences, tissus, embryons, cellules, ADN, etc.).
- Elle a pour finalité de préserver la diversité génétique face aux menaces : changement climatique, destruction d'habitats, maladies, pression anthropique.
- Elle joue un rôle double : **conservation** et **utilisation** (recherche, sélection, restauration écologique, reproduction, amélioration).
- On distingue souvent les **centres de ressources biologiques** (CRB) ou biobanques, et les **cryobanques de semences / embryons / gamètes** selon les techniques de conservation.

Définitions

Les **banques de ressources génétiques** sont des infrastructures scientifiques destinées à la **collecte, conservation, caractérisation et distribution** de matériel biologique d'origine végétale, animale ou microbienne, en vue de sa **préservation et utilisation durable**.

Elles sont essentielles pour :

- Lutter contre l'érosion génétique.
- Maintenir la diversité des espèces domestiques et sauvages.

Soutenir la recherche et l'innovation en biotechnologie, santé, agriculture, foresterie.

- **Banque de ressources génétiques** : structure dédiée à la **collecte, la conservation, la caractérisation, la documentation** et la **mise à disposition** de ressources biologiques (animales, végétales, microbiennes) (FAO, 2010).
- **Centre de ressources biologiques (CRB)** : infrastructure de conservation **organisée, normalisée et sécurisée**, abritant des collections biologiques vivantes (microorganismes, cellules, ADN, etc.), destinées à la recherche (OECD, 2001).
- **Cryobanque** : système de conservation à **très basse température** (généralement à -196°C dans l'azote liquide), utilisé pour **préserver à long terme** les semences, embryons, gamètes ou autres tissus.

5.2. Historique

- Années 1970–1980 : prise de conscience de l'érosion génétique → création des premières banques de semences.
- 1983 : création de la **Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)**.
- 2008 : ouverture du **Svalbard Global Seed Vault** (Norvège), « coffre-fort » mondial des semences.
- 2001–2010 : développement des **CRB**, avec l'OCDE et les institutions de recherche.

5.3. Typologie et structure des banques génétiques

Type de ressource	Exemple de banque	Matériel conservé	Utilisation principale
Végétale	Banque de semences	Semences, tissus végétaux, pollen	Agriculture, sylviculture, sécurité alimentaire
Animale	Cryobanques animales	Sperme, ovules, embryons, tissus	Élevage, sauvegarde de races, clonage
Microbienne	Centres de ressources biologiques (CRB)	Souches bactériennes, fongiques, ADN	Recherche, industrie pharmaceutique, biotech
Humaine (CRB)	Biobanques médicales	ADN, tissus, cellules, plasma	Recherche biomédicale, diagnostics

Typologies et structures : Voici un panorama des types de banques / centres de ressources :

Type/ appellation	Matériel conservé	Approche / technologie	Exemples / notes
Centre de ressources biologiques (CRB)	cellules, tissus, souches microbiennes, lignées, ADN, matériel végétal	culture in vitro, cryoconservation, collections vivantes	Les CRB garantissent aussi l'accès aux matériaux pour la recherche
Banque de semences (seed bank / genebank)	semences (germoplasme végétal)	stockage à basse température et faible humidité	Plus de 1 750 banques de semences dans le monde, couvrant ~6 millions d'accès (espèces / variétés) (NPH Online Library)
Cryobanques d'embryons/ gamètes	embryons, ovocytes, spermatozoïdes, tissus reproducteurs	congélation (cryopréservation) à très basse température (liquide azote)	Utilisées dans l'élevage, la conservation animale ou biologique (PubMed)
Biobanques de matériel végétal non-semencier	protoplastes, méristèmes, cultures in vitro	conservation dans l'azote liquide	Pour les espèces dont les semences sont sensibles à la dessiccation (ex : espèces « exceptionnelles ») (NPH Online Library)
Humaine (CRB) Biobanques médicales	ADN, tissus, cellules, plasma	Recherche biomédicale, diagnostics	

5.3.1. Les centres de ressources biologiques (CRB) / biobanques

-Ce sont des infrastructures centralisées qui regroupent, conservent, caractérisent, distribuent des matériaux biologiques (cellules, souches, lignées) pour la recherche fondamentale, biomédicale, agronomique, écologique.

-Ils veillent à la qualité, la traçabilité, la standardisation des procédures, aux aspects juridiques (MTAs, droits d'accès).

Exemple : les CRB de collections microbiennes, les banques cellulaires humaines ou animales, banques de culture de tissus.

- **Objectifs**
- Mettre à disposition des ressources biologiques fiables pour la recherche.
- Assurer une **traçabilité** et une **qualité** des échantillons.
- Participer à la **sécurisation des ressources génétiques** menacées.

- **Ressources conservées**

- ADN/ARN, cellules, lignées cellulaires.
- Souches microbiennes.
- Plantes en culture in vitro.
- Animaux modèles ou matériels embryonnaires.

- **Bonnes pratiques**
- Documentation (fiches d'identité, données génétiques, origine géographique).
- Certification (ISO 20387).
- Conservation sous conditions optimales (congélation, lyophilisation).

- **Exemples**
- **CRB-INRAE (France)** : plantes cultivées, arbres fruitiers, microorganismes.
- **ATCC (USA)** : plus de 18 000 souches microbiennes.

5.3.2. Principes techniques et protocoles

5.3.2.1 Conservation des semences (banques de semences)

a) Types de semences

- *Semences orthodoxes* : tolèrent le dessèchement à faible humidité puis le stockage à basse température.
- *Semences recalcitrantes* : ne supportent pas le dessèchement extrême ou le froid ; nécessitent des stratégies alternatives.
- *Semences intermédiaires* : entre les deux, tolèrent partiellement le dessèchement et le froid.
- Pour les espèces dont les semences sont recalcitrantes ou ne produisent pas de semences viables, on utilise des techniques de cryoconservation de tissus ou embryons.

b) Étapes clés

1. **Collecte / acquisition**
 - Missions de collecte sur le terrain, sélection des populations, documentation géographique.
 - Analyse des « lacunes » dans les collections existantes (gap analysis).
 - Accord de transfert matériel (Material Transfer Agreement, MTA) pour respecter les cadres légaux.
2. **Préparation (nettoyage, tri, désinfection)**
 - Nettoyage des semences, retrait des impuretés, traitement phytosanitaire si nécessaire.
 - Test de pureté, test de viabilité initiale.
3. **Sécheresse contrôlée (désiccation)**
 - Réduction de la teneur en eau jusqu'à ~3-7 % (dépend du type de semence) pour stabiliser le métabolisme.

- Conditions de séchage standard : température modérée, contrôle de l'humidité relative.
- 4. **Stockage à basse température**
 - Collections actives : $\approx 2-5^{\circ}\text{C}$, faible humidité.
 - Collections de base (long terme) : environ -18°C ou -20°C , dans des sachets ou conteneurs hermétiques.
 - Duplicata de sécurité (double stockage) souvent transféré dans des sites de sauvegarde (ex : Svalbard Global Seed Vault).
 - Contrôles périodiques de viabilité (germination tests) pour chaque lot.
 - Documentation des métadonnées (provenance, date, caractérisation).
 - Exemple : l'ICARDA génobank stocke des semences à -20°C pour la collection de base, et à -4°C pour collection active, avec duplication extérieure (ICARDA)
- 5. **Distribution / utilisation**
 - Réponse aux requêtes de semences pour recherche, sélection, restauration etc.
 - Suit les conditions de propriété intellectuelle ou de licence (traité international, droits des fournisseurs).
 - Suivi de l'usage, retour d'information sur la performance.

c) Limites et stratégies alternatives

- Certaines espèces ne survivent pas bien au stockage à -20°C (risque de perte de viabilité).
- Certaines semences sont trop sensibles (recalcitrantes) → recourir à cryoconservation d'embryons, tissus ou cultures in vitro.
- Utilisation de technologies cryogéniques (stockage dans l'azote liquide) pour les espèces sensibles (PubMed)
- Vitrifaction, congélation contrôlée, protocoles sur mesure selon l'espèce.
- Importance de la surveillance (contrôle périodique, re-germination) pour éviter la dégénérescence.

5.3.2. Cryobanques (Cryopréservation) de semences et des tissus, gamètes et embryons

- **Principe**
- Conservation **ultra-froide** (-196°C) permettant la **stabilisation du matériel génétique** sans dégradation.
- Utilisation de cryoprotecteurs (glycérol, DMSO) pour éviter les dommages liés à la glace.

➤ Types de matériel conservé

Ressource conservée	Utilisation principale
Semences	Sécurité alimentaire, agriculture
Embryons animaux	Reproduction assistée, sauvegarde d'espèces
Ovules et spermatozoïdes	Programmes de reproduction, recherche
Tissus (plantes, animaux)	Culture in vitro, clonage

- **Avantages**
- Conservation à **long terme** (plusieurs décennies voire siècles).
- Sauvegarde contre catastrophes naturelles ou humaines.
- Possibilité de régénération des espèces à partir du matériel stocké.
- **Limites**
- Coût élevé (infrastructure, azote liquide).

- Nécessité de tests réguliers de viabilité.
- Non applicable à toutes les espèces (ex : espèces à graines récalcitrantes).

5.3.2.1 Principes de la cryopréservation

- L'idée est de mettre le matériel biologique dans un état de « quasi-suspension » en réduisant fortement les températures (ex : -196°C en azote liquide) pour arrêter les réactions métaboliques normales. (Gene Banks)
- Le principal défi est de prévenir les **dommages liés à la congélation** : formation de cristaux de glace, choc osmotique, stress oxydatif.
- Utilisation de cryoprotecteurs (ex : glycérol, DMSO, sucrose) pour protéger les cellules.
- Techniques spécifiques : congélation lente contrôlée, vitrification (refroidissement ultra-rapide pour éviter cristallisation).
- Le matériel biologique peut être : tissu somatique, embryons (zotique, somatiques), axes embryonnaires, méristèmes, ovocytes, spermatozoïdes. (PubMed)

a) Applications en plantes

- Pour les espèces qui ne tolèrent pas le stockage de semences (espèces « exceptionnelles »), on conserve des embryons ou axes embryonnaires en cryo. (NPH Online Library)
- De nombreux programmes de cryoconservation utilisent des méristèmes, cultures somatiques ou embryonnaires. (PMC)
- Exemple : la vitrification d'axes embryonnaires, cryopréservation de tissus d'arbres et de plantes ligneuses. (PMC)

b) Applications en animaux / modèles biologiques

- Les cryobanques animales stockent spermatozoïdes, ovocytes, embryons, tissus reproducteurs, parfois cellules somatiques ou lignées cellulaires. (PubMed)
- Utiles pour la conservation des races, la recherche biomédicale, la reproduction assistée.
- L'association de la cryopréservation avec les technologies de reproduction (insémination artificielle, transfert embryonnaire, clonage) permet la reconstitution d'un individu. (PubMed)
- Défis : contamination, viabilité après décongélation, optimisation des protocoles selon l'espèce, cryoprotecteurs adaptés. (PubMed)

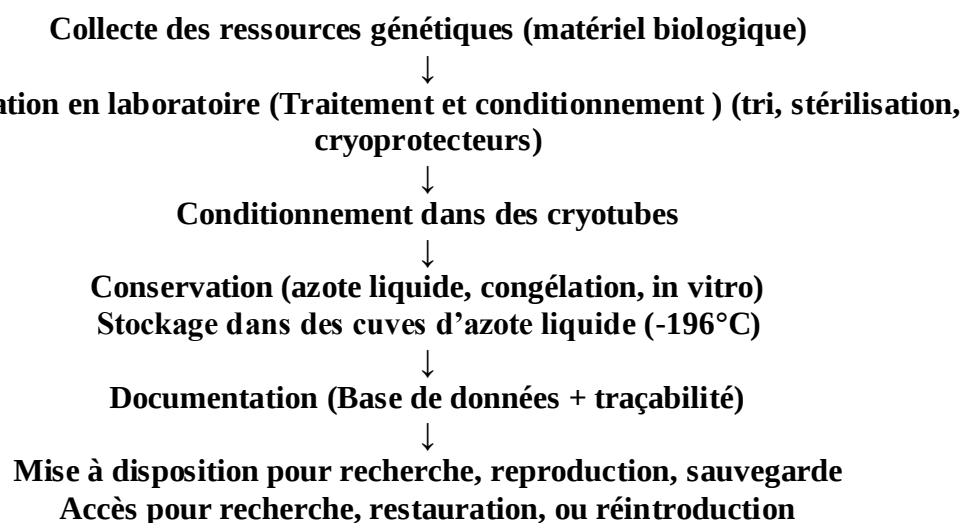


Figure :Exemple schématique du fonctionnement d'une cryobanque

5.3.4. Conservation ex situ des ressources végétales – Banques de graines et banques in vitro

5.3.4.1. Introduction

La conservation ex situ des ressources phytogénétiques vise à préserver la diversité génétique des plantes en dehors de leur habitat naturel. Elle est complémentaire à la conservation in situ (dans l'environnement d'origine) et devient essentielle face à la perte rapide de biodiversité, aux changements climatiques et à la dégradation des écosystèmes.

Parmi les stratégies ex situ, deux approches majeures se distinguent :

- les **banques de graines** (ou seed banks), qui conservent les semences sèches à basse température ;
- les **banques in vitro**, qui utilisent des techniques de culture tissulaire pour conserver des plantes entières ou des fragments végétatifs en conditions contrôlées.

Ces deux méthodes présentent des avantages spécifiques et des limites, qui justifient leur usage complémentaire (Engelmann, 1989 ; Bettoni et al., 2024).

5.3.4.2. Banques de graines (Seed Banks)

➤ Définition et objectifs

Les banques de graines stockent les semences dans des conditions optimales (basse température, faible humidité) afin de maintenir leur viabilité à long terme. Elles servent à :

- préserver la diversité génétique des espèces cultivées et sauvages ;
- sécuriser l'approvisionnement en matériel végétal pour la recherche, l'agriculture et la reforestation ;
- faire face à des catastrophes naturelles ou humaines (Iberdrola, 2023 ; Kew, 2024).

Exemple emblématique : la **Svalbard Global Seed Vault** en Norvège, qui conserve plus d'un million d'échantillons de semences en duplication de collections mondiales (Wikipedia, 2024).

➤ Processus de fonctionnement

Le cycle de conservation en banque de graines comprend plusieurs étapes (Kew, 2024 ; Nature Network, 2023) :

1. **Collecte** : sur le terrain, dans les zones cultivées ou naturelles.
2. **Nettoyage et tri** : élimination des débris et graines non viables.
3. **Séchage** : réduction de l'humidité à environ 3–7 % pour ralentir la respiration cellulaire.
4. **Test de germination** : vérification de la viabilité initiale et périodique.
5. **Conditionnement** : en sachets hermétiques, avec étiquetage précis.
6. **Stockage** : à -18°C , parfois en cryoconservation (azote liquide à -196°C).
7. **Régénération** : si la germination devient insuffisante, les plantes sont régénérées en serre ou champ.
8. **Distribution** : vers les chercheurs, agriculteurs ou pour la restauration écologique.

➤ Avantages et limites

Avantages :

- Faible coût de stockage par unité de matériel.
- Durée de conservation pouvant dépasser plusieurs décennies (Kew, 2024).
- Facilité de transport et d'accès.

Limites :

- Ne convient pas aux espèces à graines récalcitrantes (ex. : cacao, mangue) (Iberdrola, 2023).
- Perte progressive de viabilité.
- Risques de contamination (champignons, insectes).
- Besoin de régénération, avec risque de dérive génétique (Biology Insights, 2023).

5.3.4.3. Banques in vitro (Vitro-plantes)

➤ Définition et contexte d'usage

La conservation **in vitro** consiste à cultiver des tissus végétaux (explants, bourgeons, méristèmes) dans un environnement stérile, sur milieu nutritif gélosé, sous lumière et température contrôlées. Elle est essentielle pour :

- les espèces sans graines viables ou à graines récalcitrantes ;
- les plantes clonales (pommes de terre, banane, manioc) (Genebanks.org, 2023) ;
- la multiplication de variétés élitaires, espèces rares ou en danger.

On distingue deux stratégies principales :

- **conservation à croissance lente** (*slow growth*) : ralentir la multiplication pour espacer les subcultures (Bettoni et al., 2024) ;
- **cryoconservation** : congélation à -196°C dans l'azote liquide après traitement protecteur (Engelmann, 1989).

➤ Protocole de mise en place

1. **Préparation des explants** : choix de tissus sains (nœuds, apex, embryons).
2. **Stérilisation** : bains de désinfectants (hypochlorite, éthanol).
3. **Culture sur milieu nutritif (Murashige & Skoog)** : ajusté selon l'espèce.
4. **Croissance lente** : réduction de lumière, température, nutriments, hormones.
5. **Cryoconservation** : utilisation de cryoprotecteurs (DMSO, sucrose) avant immersion dans l'azote liquide.
6. **Régénération** : retour à la culture normale pour obtenir des plantules entières.
7. **Contrôle de stabilité génétique** : vérification par marqueurs (moléculaires ou phénotypiques) (Bettoni et al., 2024).

➤ Avantages et limites

Avantages :

- Adaptée aux espèces non conservables sous forme de graines.
- Conservation dans un faible volume.

- Protection contre maladies et parasites du sol (Genebanks.org, 2023).

Limites :

- Coût élevé (équipements, personnel qualifié).
- Risques de mutations somaclonales (Engelmann, 1989).
- Nécessité d'entretien régulier, même en croissance lente.

❖ Comparaison des deux méthodes

Critère	Banques de graines	Banques in vitro
Matériel conservé	Semences orthodoxes	Tissus végétatifs, embryons
Coût	Relativement faible	Élevé
Durée de conservation	Longue (10–100 ans)	Moyenne (1–5 ans en slow growth)
Espace requis	Très compact	Compact mais demande équipements
Reprise de croissance	Germination simple	Culture et acclimatation nécessaires
Stabilité génétique	Bonne, si peu de régénérations	Risques de variations somaclonales

❖ Études de cas et applications

- La **Millennium Seed Bank** (Royaume-Uni) conserve plus de 39 000 espèces de plantes sauvages, avec une attention spéciale aux espèces en danger (Kew, 2024).
- En Afrique, la culture in vitro du **manioc** permet de préserver les variétés traditionnelles non produites par semence (Bettoni et al., 2024).
- Des espèces tropicales comme le **caféier** ou le **cacao** sont souvent conservées via cryoconservation, en raison de graines sensibles au froid (Engelmann, 1989).
- En Asie, la germination in vitro de *Mimusops laurifolia*, une espèce menacée, a permis une régénération efficace à partir de graines partiellement viables (Mohamed et al., 2024).

Les banques de graines et les banques in vitro sont deux outils clés de la conservation ex situ. Tandis que les premières conviennent aux espèces à graines orthodoxes, les secondes permettent de préserver un spectre plus large, incluant les plantes clonales ou à graines sensibles.

Une **stratégie intégrée**, combinant les deux méthodes, permet une conservation durable et efficace de la biodiversité végétale, à des fins de sécurité alimentaire, de recherche scientifique et de restauration des écosystèmes.

5.4. Techniques de conservation utilisées

□ Conservation par le froid (cryoconservation)

- Stockage à très **basse température** (-80°C à -196°C, azote liquide).
- Évite les réactions biochimiques et garde la viabilité sur le **long terme**.
- Utilisée pour les cellules, embryons, semences, ADN, etc.

□ Conservation in vitro

- Culture de tissus ou cellules végétales en laboratoire.

- Technique utilisée pour les espèces dont les graines ne se conservent pas bien (espèces à graines "recalcitrantes").

□ **Lyophilisation**

- Déshydratation par le froid → conservation des micro-organismes, extraits enzymatiques ou ADN à température ambiante.

5.5. Exemples emblématiques de banques génétiques

□ **Le Svalbard Global Seed Vault (Norvège)**

- Surnommé le "**coffre-fort de l'humanité**".
- Capacité : jusqu'à 4,5 millions d'échantillons de semences.
- Protégé contre les catastrophes naturelles, conflits armés, etc.
- Fonction : back-up mondial pour toutes les banques de semences.

□ **Cryobanque animales (France, USA, Kenya)**

- Conserve le patrimoine (matériel) génétique des animaux (races) domestiques (bovins, ovins, porcins) d'espèces anciennes ou d'espèces sauvages.
- Ex : INRAE Cryobanque Nationale (France) pour bovins, ovins, caprins.
- Sert à reconstituer des races anciennes ou en déclin.

□ **Biobanques humaines (ex : Biobank UK, France Génomique)**

- Destinées à la **recherche médicale**.
- Contiennent des milliers d'échantillons biologiques associés à des données cliniques.

❖ **Enjeux actuels et perspectives**

- Réchauffement climatique : menaces sur les espèces et nécessité d'**adaptation génétique**.
- Sécurité alimentaire : importance croissante des variétés adaptées.
- Accès équitable aux ressources génétiques (Protocole de Nagoya, 2010).
- Technologies futures : génomique, biobanques numériques, intelligence artificielle pour la gestion des bases.

Les **banques de ressources génétiques** sont des piliers majeurs pour la **préservation de la diversité biologique**, le **développement durable** et la **sécurité de l'humanité face aux crises**. Leur bon fonctionnement repose sur des normes strictes, une traçabilité rigoureuse, et une collaboration internationale renforcée.

5.6. Fonctionnement des centres de ressources biologiques & cryobanques

5.6.1 Gestion, qualité, , traçabilité et documentation

- Chaque échantillon est associé à des métadonnées : provenance, date de collecte, caractéristiques phénotypiques ou génomiques, conditions de stockage.
- Suivi de viabilité dans le temps : tests périodiques de germination (pour semences), de régénération (pour embryons ou tissus) etc.
- Normes et protocoles standardisés pour garantir reproductibilité et sécurité.

- Chaque « accession » (échantillon) est associée à des **métadonnées** : origine géographique, date, conditions de collecte, caractéristiques morphologiques ou moléculaires, historique, etc.
- Systèmes de gestion de bases de données (par exemple, Genesys pour les ressources végétales) permettent de relier l'information et faciliter l'accès aux utilisateurs. (ICARDA)
- Contrôles de qualité : tests de viabilité périodiques, contrôles sanitaires, intégrité génétique (tests moléculaires), suivi des conditions de stockage.
- Normes et standards internationaux (par exemple les standards des génobanques pour les ressources végétales).

5.6.2. Infrastructure & sécurité duplication et sauvegarde

- Équipements : congélateurs spéciaux, cuves d'azote liquide, systèmes de contrôle de température/humidité, laboratoires de culture/tissu lorsque nécessaire.
- Sécurité redondante : duplicatas, sites de sauvegarde, protection contre les pannes, incendies, etc.
- Contrôle des risques liés à la contamination, intégrité génétique (éviter les mutations, dégénérescence somaclonale).
- Conservation redondante (duplicata dans d'autres sites) pour minimiser le risque de perte (incendie, panne).
- Stockage dans des lieux géographiquement dispersés (par exemple, Svalbard Global Seed Vault est une banque de sécurité mondiale).
- Surveillance continue des systèmes de congélation, alarmes de température, journaux de suivi.
-

5.6.3. Accessibilité, aspects légaux et éthiques partage

- Conditions d'accès des utilisateurs (chercheurs, breeders, agriculteurs) : formalisation via des accords de transfert, licences.
- Respect des conventions internationales (Convention sur la diversité biologique, Traité international des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture).
- Politique de partage des bénéfices (ABS – access and benefit sharing) selon les contributions des pays donateurs.
- Transparence des collections, responsabilité éthique.

Accords de transfert de matériel, politiques de partage des bénéfices, respect des réglementations internationales (ex : Traité International sur les Ressources Phytogénétiques, Convention sur la Diversité Biologique) pour les semences/plantes ; pour le matériel animal, lois sur la reproduction, la bioéthique.

Garantir usage équitable, capacités locales pour gérer / utiliser les banques, collaboration internationale.

6. Exemples, résultats et perspectives récentes

- **National Cryobank Facility (ICAR-NBPGR, Inde)** : conservation depuis plusieurs décennies de matériel difficile (espèces avec semences non orthodoxes, pollen, bourgeons dormants), avec des protocoles adaptés selon espèces. (PubMed)
- **Étude sur plantes médicinales (Chine, Hainan)** : cryobanque mise en place pour espèces sensibles, sur 164 espèces. Conditions optimales déterminées pour les différents types de semences. (MDPI)

- **Cryopréservation d'embryons & axes embryonnaires** : plus de 90 espèces pour les embryons zygotiques, environ 40 pour les embryons somatiques. Ces travaux montrent que beaucoup d'espèces "non orthodoxes" peuvent être sauvées via ces méthodes. (PubMed)
- En domaine animal : revue sur cryoconservation des gamètes/embryons des animaux de laboratoire ; mise au point des méthodes, des protections, des critères de viabilité. (PubMed)

7. Avantages, contraintes et défis

7.1 Avantages

- Conservation longue durée avec faible dégradation métabolique.
- Possibilité de préserver des espèces à risque, des variétés rares, matériel génétique précieux.
- Base pour recherche, amélioration génétique, restauration/réintroduction d'espèces.
- Moins de nécessité de surface (comparée aux collections vivantes), coût d'entretien potentiellement plus faible sur long terme.

7.2 Contraintes et défis

- Coût initial & maintenance : infrastructure cryogénique, personnel qualifié, énergie, équipement.
- Pour certains types (semences recalcitrantes, embryons, tissus), difficultés techniques pour garantir viabilité après congélation et décongélation.
- Effets indésirables possibles : altérations génétiques, dommages cellulaires, perte de potentiel de régénération.
- Aspects légaux, bioéthiques, partage des ressources et des bénéfices.

Les centres de ressources biologiques et les cryobanques de semences/embryons représentent des piliers fondamentaux pour la conservation ex situ des ressources génétiques. Les avancées récentes montrent qu'il est possible de préserver un large spectre d'espèces, même celles dont les semences ne sont pas "orthodoxes", grâce à des techniques cryobiologiques adaptées. Cependant, le succès repose sur la rigueur technique, les infrastructures adéquates, la documentation, et une collaboration internationale forte. Pour l'avenir, l'intégration de la génomique, de la biotechnologie, et le renforcement des capacités dans les régions de forte biodiversité seront des facteurs clés.