



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Université IBN KHALDOUN de Tiaret Faculté des
Sciences de la Nature et de la Vie

Domaine : Science de la nature et de la vie

Spécialité : M1 Ecologie animale

Et

M2 Ecologie fondamentale et appliquée

Module : Dégradation de la faune et de la flore

Année universitaire 2022/ 2023

Les effets conjugués de la pression anthropique croissante sur les ressources naturelles et des conditions climatiques sévères engendrent des dysfonctionnements de l'écosystème terrestre. Ces effets sont amplifiés par les modes et systèmes inappropriés d'exploitation des ressources naturelles disponibles. Cela conduit à la régression des massifs forestiers, à la diminution de la disponibilité des ressources en eau et leur pollution, et à la dégradation des parcours et des sols, pouvant engendrer la désertification et la disparition de certaines espèces animales et végétales.

Ces perturbations qui affectent les ressources biologiques et les potentialités des terres, se traduisent par la détérioration du niveau de vie de la population, l'abandon des terres et l'exode rural ou l'émigration. Même les progrès rendus actuellement possibles par les nouvelles techniques et les nouvelles politiques en matière d'environnement sont réduits à néant par l'accélération de l'accroissement démographique et du développement économique. En effet, l'augmentation des terres agricoles due à la croissance démographique et à l'augmentation des cultures d'exportation ou de l'élevage entraîne la déforestation et le surpâturage qui favorisent l'érosion hydrique et éolienne. Ainsi, dans les zones semi-arides, le surpâturage et la déforestation contribuent à la désertification qui empêche la reconstitution du couvert végétal et peut être considérée comme la forme ultime de la dégradation des terres.

Dans ce contexte, ce document est consacré à l'étude de ces différents phénomènes, dans 05 chapitres:

- **Chapitre 01:** déforestation.
- **Chapitre 02:** destruction des sols.
- **Chapitre 03:** désertification.
- **Chapitre 04:** dégradation de la biodiversité.
- **Chapitre 05:** dégradation de l'écosystème aquatique.

Liste des Figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Évolution des surfaces de forêts entre 1990 et 2005. (Desclée et al., 2013)..... | 4 |
| Figure 2: importance du type d'érosion en fonction de l'aridité du climat. | 15 |
| Figure 3: Processus général de l'érosion hydrique du sol. | 16 |
| Figure 4: Surface cultivée en mil et rendement total du département de Tahoua (Niger)..... | 18 |
| Figure 5: Rendement à l'hectare du mil et u niébé dans le département de Tahoua. | 19 |
| Figure 6: Cercle vicieux de la dégradation des sols. | 20 |
| Figure 7: Techniques de lutttes contre la dégradation des sols. | 22 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Exemples de définitions de la desertification..... | 25 |
| Tableau 2: Les différents stades de désertification..... | 26 |
| Tableau 3: Importance de la désertification par grandes zones d'activités..... | 27 |

Table des matières

| | |
|---|---|
| 1.1 Définition de la déforestation : | 2 |
| 1.2. Définition de la forêt | 3 |
| 1.3. Dégradation des forêts | 3 |
| 1.4. Historique | 3 |
| 1.5. Répartition mondiale | 4 |
| 1.6. Les causes de la déforestation | 5 |
| 1.6.1. Activités humaines | 5 |
| 1.6.2. Cultures et élevage d'exportation..... | 6 |
| 1.6.3. Défrichement..... | 6 |
| 1.6.4. Urbanisation et l'artificialisation des forêts | 7 |
| 1.6.5. Construction de routes | 7 |
| 1.6.6. Exploitation minière | 7 |
| 1.6.7. Marché du bois | 7 |
| 1.6.8. Bois de feu..... | 8 |
| 1.7. Facteurs aggravants | 8 |
| 1.7.1. Facteurs naturels..... | 8 |
| 1.8. Conséquences | 9 |
| 1.8.1. Sur les sols..... | 9 |

| | |
|--|-----------|
| 1.8.2. Sur la biodiversité..... | 9 |
| 1.8.3. Sur le Cycle de l'eau | 10 |
| 1.8.4. Pluviométrie et climat..... | 11 |
| 1.8.4. Conséquences sanitaires pour les populations locales..... | 11 |
| 1.9. Tentatives de solutions | 12 |
| L'objectif zéro déforestation..... | 12 |
| Protection légale des forêts..... | 12 |
| Exploitation durable des forêts..... | 13 |
| Reboisement, reforestation..... | 13 |
| | 14 |
| Chapitre 2 : | 14 |
| Destruction des sols..... | 14 |
| Chapitre 2. Destruction des sols..... | 15 |
| 2.1. Formes et processus de dégradation des sols..... | 15 |
| 2.1.1. La dégradation physique des sols..... | 15 |
| 2.1.2. Dégradation chimique des sols..... | 17 |
| | 19 |
| 2.1.3. Dégradation biologique des sols..... | 19 |
| 2.2. L'inventaire des techniques de restauration des sols dégradés peut se faire suivant différents critères : | 21 |
| 3. La désertification..... | 24 |
| 3.1. Définitions et caractéristiques générales de la désertification..... | 24 |
| 3.2. Processus ou état ?..... | 25 |
| 3.3. Réversibilité ou irréversibilité ? | 26 |
| 3.4. Impact de l'homme..... | 26 |
| 3.5. Aires géographiques concernées | 27 |
| 3.6. Mécanismes..... | 28 |
| Zones pastorales | 28 |
| ➤ Zones irriguées | 29 |
| 3.6. Interactions | 30 |
| Chapitre 4. Dégradation de la biodiversité | 35 |
| 4.1. La diversité biologique régresse à un rythme sans précédent | 36 |
| 4.2. Menaces sur les forêts | 37 |
| 4.3. Menaces sur les eaux douces..... | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 4.6. Aperçu des préoccupations environnementales de l’Afrique..... | 39 |
| 5.1. Pollution des milieux aquatiques..... | 43 |
| 5.1.2. Pollution de l’eau..... | 43 |
| 5.2. Généralités sur l’eau et les sources de pollution..... | 45 |
| ➤ Exemple de pollution par les métaux lourds | 45 |
| ➤ Toxicité des métaux lourds..... | 45 |
| Références bibliographiques | 47 |

Chapitre 1 :

La déforestation

Chapitre 1 : La déforestation

1.1 Définition de la déforestation :

La **déforestation** est le phénomène de régression durable des surfaces couvertes de forêts, qu'il soit d'origine anthropique ou naturelle. Si une forêt repousse après une coupe, une attaque d'insectes xylophage ou un feu, on ne parle pas de déforestation. Le phénomène de déforestation est souvent évoqué en lien avec celui de dégradation (fonctionnelle ou biologique) de la forêt. La perte de couvert forestier fait référence à la perte de surface forestière brute, elle est souvent observée par satellite (Martin, 2008).

Elle résulte des actions de déboisement puis de défrichage, liées à l'extension des terres agricoles, à l'exploitation des ressources minières du sous-sol, à des travaux d'infrastructures tels que barrage hydroélectrique ou route, à l'urbanisation, voire à l'exploitation excessive ou anarchique de certaines essences forestières. Les entreprises forestières légales ne semblent pas être les premiers responsables de la déforestation (Martin, 2008).

La déforestation n'est pas un phénomène récent puisque déjà signalé par certains chroniqueurs dès le Néolithique. Mais elle a pris des proportions et une rapidité jamais atteintes. (Karsenty* et al., 2010)

- En termes de volume de bois, dans le monde de 2000 à 2010, plus de 100 millions de mètres cubes de bois auraient été illégalement coupés par an, soit de quoi faire dix fois le tour de la planète en couchant bout à bout les troncs coupés.

- En termes financiers, les pays en développement ont été privés d'un revenu annuel d'environ 10 milliards de dollars (USD).

- En termes de surface, la déforestation actuelle concerne essentiellement les forêts tropicales, et rien que pour les coupes illégales, ce sont vers 2010 environ 5 millions d'ha de forêt qui sont coupés par an.

- En termes de réchauffement climatique, en 2005, l'ONU et la FAO ont qualifié d'« alarmante » la déforestation qui est aussi responsable de 4,3 à 5,5 Gigatonnes d'équivalent CO₂ d'émissions de gaz à effet de serre. Soit de 9 à 11 % des émissions d'origine anthropique.

La moitié des forêts de la planète a ainsi été détruite au cours du XX^e siècle. L'une des 4 priorités proposée au Sommet de la terre lors de la Conférence des Nations unies sur

l'environnement et le développement (Rio de Janeiro, 3-14 juin 1992) était une « convention mondiale sur la forêt », mais « en raison notamment de l'opposition de plusieurs pays concernés », les États l'ont transformé en une simple « Déclaration de principes sur les forêts » (de moindre valeur juridique). (Karsenty* et al., 2010).

1.2. Définition de la forêt

La définition exacte de la forêt varie selon les sources. Il s'agit d'une surface avec un minimum de couvert végétal atteignant la strate arborée.

Pour le FAO la superficie minimale d'une forêt est 1/2 ha, dont 10 % minimum de la surface est couvert d'arbre. Les arbres sont définis comme des éléments de végétation boisée hauts de plus de 5 mètres à maturité. Certains états et de nombreuses associations et ONG ont des définitions plus strictes. Le programme REDD donne le choix aux états de définir la forêt comme des surfaces ayant un couvert arboré minimal entre 10 % et 30 %.

Selon la définition choisie la superficie de couvert forestier existant dans le monde actuellement varie fortement (Grandjean, 2020).

1.3. Dégradation des forêts

Même si la forêt ne disparaît pas, d'après les critères développés plus haut, sa qualité peut diminuer en conséquence de son exploitation. Elle peut abriter moins de biodiversité et voir sa capacité à réguler le cycle de l'eau ou le climat restreinte. Ainsi même l'exploitation sélective des essences forestière à un impact sur l'écosystème forestier, via la fragmentation du milieu notamment. (Tchatchou et al., 2015)

1.4. Historique

La déforestation est ancienne. Elle a commencé selon Williams dès la fin de la Préhistoire, avec une nette corrélation spatio-temporelle entre le recul des forêts et la densité de la population humaine en zone tempérée, même si des populations assez denses ont aussi pu localement vivre dans la forêt sans la détruire, en zone tropicale (ex : Amérindiens, populations d'Afrique noire et de l'actuelle Indonésie) (Cortez & Stephen, 2009).

On pensait jusqu'à maintenant que l'Amérique du Nord avait échappé à ce phénomène. On croyait que les grandes prairies de l'ouest canadien étaient d'origines naturelles. On sait maintenant que les premières nations utilisaient le feu pour entretenir régulièrement ces vastes pâturages et empêcher la forêt de s'y installer. Un cas historique hypothétique et médiatisé est celui du syndrome de l'île de Pâques où la surexploitation de la ressource en bois par les

Pascuans aurait provoqué la chute de leur culture et de leur population. Aujourd'hui cette thèse est remise en cause. Un modèle mathématique a établi que leur population n'aurait pas dû dépasser 2 000 habitants pour qu'ils puissent durablement survivre sur l'île sans épuiser la ressource forestière qui leur était indispensable, le cocotier (Cortez & Stephen, 2009).

1.5. Répartition mondiale

Dans la seconde moitié du XX^e siècle, les trois grandes zones de déforestation active, par taille décroissante de surfaces concernées sont : l'Amazonie, l'Afrique équatoriale et la zone Malaisie/Indonésie en Asie. Selon la FAO, c'est en Amérique du Sud que la perte nette de forêts a été la plus élevée de 2000 à 2005 (environ 4,3 millions d'hectares par an).

Sur les 12 millions d'hectares de forêts tropicales perdues en 2018, 1,3 million d'hectares se situent au Brésil, suivi par la République démocratique du Congo : 480.000 hectares et par l'Indonésie : 340.000 hectares ; au Ghana et en Côte d'Ivoire, où le taux de déboisement a atteint respectivement 60 % et 26 %, l'exploitation minière illégale est en cause, ainsi que l'expansion des exploitations cacaoyères.

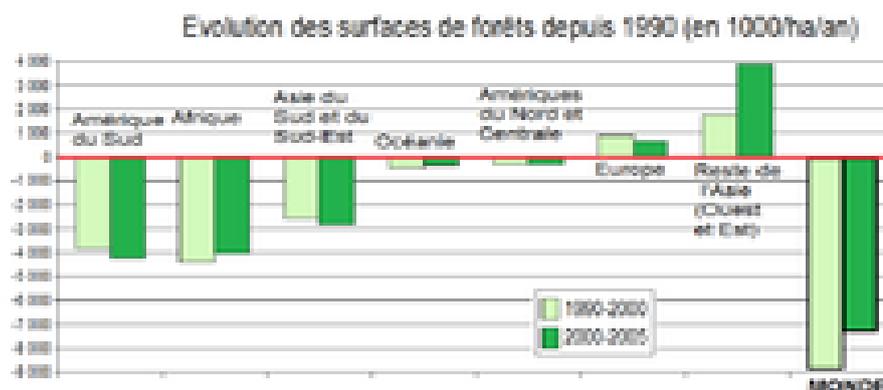


Figure 1 : *Évolution des surfaces de forêts entre 1990 et 2005. (Desclée et al., 2013)*

Les deux premiers pays destructeurs de forêts pour 2000-2005 sont : le Brésil (avec 3,1 millions ha/an détruits (0,6 % de déforestation)) et l'Indonésie, avec 1,8 million ha/an détruit (2 % de déforestation). En 2012, l'Indonésie a abattu près de deux fois plus de forêt vierge que le Brésil, avec 840 000 hectares de forêt abattus.

Près des deux tiers des forêts du monde sont concernées par une forte déforestation depuis deux siècles (le siècle étant un « pas de temps » court pour la reconstitution d'un écosystème forestier qui s'effectue sur plusieurs siècles, voire plus de 1000 ans sur les sols les plus difficiles), avec une aggravation du phénomène principalement dans huit pays : Australie, Brésil, Chine, Inde, Indonésie, Fédération de Russie, Pérou, République

démocratique du Congo. Les États-Unis et le Canada ont stabilisé la déforestation, mais la forêt y a souvent été très artificialisée. Ailleurs, comme en Europe et au Japon, la forêt est stable ou gagne de la surface (en Suisse et en France notamment), mais elle perd de sa qualité en termes de biodiversité et surtout d'intégrité écologique, en particulier à cause de la fragmentation écologique par les routes et des plantations d'essences de rentes. Par ailleurs, ces derniers pays contribuent à la déforestation en étant parmi les premiers importateurs de tabac, de bois tropicaux et de soja (cultivé à la place de forêts tropicales détruites). (Desclée et al., 2013)

Évolutions récentes et déclarations contradictoires : à titre d'exemple, mi-2007, le ministère brésilien de l'environnement annonçait un « net recul » de la déforestation amazonienne (d'un tiers au cours des douze mois précédents, pour retrouver un niveau plus bas (équivalent à celui depuis les années 1970), mais six mois plus tard, l'Institut National Brésilien pour la Recherche Spatiale, concluait de l'analyse des images satellitaires que le rythme de la déforestation s'est à nouveau fortement accéléré les six derniers mois de 2007 en Amazonie, avec une perte d'au moins 3 200 km² d'août à décembre 2007.

Façon intensive pour la construction navale et funéraire par les Égyptiens puis les Perses, les Turcs et les Romains : dès l'Ier siècle les Romains avaient pris conscience de la raréfaction des cèdres et avaient mis en place un système de protection. Il n'en subsiste aujourd'hui que des îlots discontinus (Pomel & Salomon, 1998).

1.6. Les causes de la déforestation

Les causes principales de la déforestation actuelle sont humaines. Un rapport du député Jacques Le Guen estime que la crise forestière mondiale est avant tout une crise de surconsommation : la mondialisation de l'économie expose les forêts tropicales à la pression du marché international. La conversion actuelle des forêts tropicales pour des cultures d'exportations constitue un accaparement indirect des terres par les pays industrialisés et ceux en transition (Chine, Inde) (Gillet et al., 2016)

1.6.1. Activités humaines

L'homme interfère depuis très longtemps avec la forêt, mais ses impacts deviennent plus importants de par les armes (ex : fusil de chasse) et moyens techniques qu'il a récemment acquis (tronçonneuse, engins forestiers lourds, génie routier, etc.) au détriment de la forêt et de nombreux grands sites patrimoniaux.

La principale cause de la déforestation est la conversion des surfaces forestières pour de nouveaux usages, l'exploitation directe du bois vient en seconde position. Certains facteurs

secondaires, liés à la dérégulation, peuvent venir aggraver la déforestation. (Scouvart & Lambin, 2006)

1.6.2. Cultures et élevage d'exportation

Ruth DeFries (DeFries et al., 2004) professeur au Earth Institute de l'Université Columbia, et son équipe ont étudié les facteurs qui peuvent avoir un impact direct sur la déforestation. À partir de caractérisations d'images satellites d'étendues forestières situées en Afrique, en Amérique latine et en Asie, ils ont mis en lumière une corrélation assez évidente entre le phénomène de la déforestation et l'expansion urbaine ainsi que l'exportation agricole dans ces régions. Selon l'analyse faite par DeFries et son équipe (DeFries et al., 2004) du Earth Institute, la croissance de la population en milieu rural n'a, à aucun moment, montré de lien évident avec la déforestation. En fait, l'amélioration continue du niveau de vie dans les grandes villes favorise grandement la déforestation, puisque davantage de terres sont consacrées à l'élevage et à la production de nourriture nécessaire pour nourrir les animaux.

Dans les années 1990, près de 70 % des zones déboisées ont été converties en terres agricoles. La déforestation en zone tropicale est causée principalement par l'élevage de bétail, la culture du tabac, du soja et du palmier à huile. En 1990, 75 % des terres déboisées, en Amazonie, étaient utilisées pour l'élevage. 16 % de la forêt amazonienne a été convertie en surface de culture pour le soja. Des effets pervers et différés existent aussi via par exemple la consommation dans les pays développés (de bétail ou de volaille, nourris par le soja cultivé au Brésil), ou le développement des agrocarburants (Brésil notamment) (Tchatchou et al., 2015).

1.6.3. Défrichage

de la forêt pour la plantation de palmiers à huile a un impact important à l'échelle mondiale, des recherches publiées en 2016 lui attribue 45 % de la déforestation en Asie du Sud-est, 31 % en Amérique du Sud (les chiffres sont moins importants en Afrique et en Amérique Centrale, 2 et 7 %), ce depuis 1989.

Dans l'État brésilien du Mato Grosso l'élevage est aujourd'hui la première cause de la déforestation, puisque 79,5% des terres déboisées y sont converties en pâtures pour le bétail, le Brésil est le premier exportateur de viande de bœuf au monde (Tchatchou et al., 2015).

1.6.4. Urbanisation et l'artificialisation des forêts

Un nombre croissant de forêts sont sous influence urbaine. Les dernières zones naturelles boisées sont de plus en plus fragmentées et mitées. Les forêts secondaires exploitées le sont aussi en raison notamment de certaines normes sylvicoles récentes et formes plus intensives d'aménagement forestier (véritables remembrements parcellaires organisés autour d'un réseau dense de voies forestières, éventuellement élargies) qui ajoutent leurs effets à ceux d'autres infrastructures (autoroutes, routes forestières...).

Des creusements de canaux et des centaines de grands barrages hydroélectriques construits depuis quelques décennies, ainsi que de nombreux travaux de drainage ou de pompage d'eau, ont aussi un impact majeur et durable sur la biodiversité forestière et la santé des arbres ; les lacs de réserve des grands barrages peuvent noyer de vastes espaces de forêt (Scouvar & Lambin, 2006)

1.6.5. Construction de routes

Outre la déforestation nécessaire à la construction d'une route, toute l'urbanisation qui en découle aggrave la déforestation. Les populations s'installent ainsi aux abords de la voie de communication et défrichent pour obtenir de l'espace pour leurs habitations et des surfaces planes pour les cultures ou l'élevage. C'est par exemple le cas de la route interocéanique reliant le Brésil à la Bolivie, en passant par le Pérou.(Gillet et al., 2016)

1.6.6. Exploitation minière

Outre un certain déboisement, l'exploitation minière, dont l'orpaillage, provoque un empoisonnement de la terre et des eaux (ex : arsenic, cyanures, mercure et autres métaux lourds ou radionucléides...), avec des conséquences parfois durables sur la végétation : la mine de Carajás au Brésil a ainsi détruit 150 000 km² de forêt, et l'orpaillage guyanais et du Surinam empoisonne des milliers de km de cours d'eau forestiers par le mercure, jusqu'au cœur pourtant peu accessible de la jungle. Ces activités modifient souvent le cycle de l'eau via des pompages, drainages ou détournement de grandes quantités d'eau qui peuvent en priver la forêt (Gillet et al., 2016).

1.6.7. Marché du bois

L'exploitation anarchique et illégale des ressources forestières du Sud est encouragée par les besoins locaux en bois de construction et bois de feu, mais aussi par la consommation de papier, bois et meubles ne garantissant pas une provenance légale ni une bonne gestion

forestière au Nord, dont maintenant en Chine. La part de responsabilité du commerce et de l'exploitation du bois fait débat ; ainsi, la contribution directe du marché international des bois tropicaux ne serait pas dominante en termes d'impact direct en Amazonie, Asie et Afrique. ex. : Le prélèvement de bois d'exportation au Cameroun serait d'environ 1 tige/ha (soit 10 à 15 m³) par 30 ans⁵⁹ (en Afrique il faut souvent parcourir l'équivalent de six terrains de football pour trouver un arbre intéressant pour le marché international, qui ne prélève qu'une faible part des essences tropicales, mais en contribuant néanmoins à la fragmentation forestière via les pistes nécessaires à l'exploration et au débardage, qui peuvent ensuite être utilisées pour un déboisement illégal, le brûlis, la chasse de viande de brousse, etc...(Fleury, 2000).

1.6.8. Bois de feu

Dans les pays en voie de développement, les trois quarts du bois servent de combustible utilisé dans des installations peu efficaces ; ceci a causé la déforestation presque totale d'Haïti. En zone sahélienne, la demande en charbon de bois est importante. Au sud de l'Afrique, plus de 140 000 hectares de terrains boisés indigènes disparaissent chaque année pour fournir du bois pour le séchage du tabac ; c'est 12 % de la déforestation annuelle totale de la région (Fleury, 2000).

1.7. Facteurs aggravants

Le non-respect des règles environnementales, ou le recul des protections traditionnelles (forêts sacrées...) exacerbent le risque de déforestation ; Dans certains pays en l'absence de plan de gestion, l'exploitation est anarchique ou de grandes portions de forêt peuvent être converties à d'autres usages (Dao, 2004).

1.7.1. Facteurs naturels

Les facteurs naturels ayant une influence sur le couvert forestier incluent de nombreux facteurs. Les maladies et les champignons sont aidés par la présence de cultures monospécifiques, voire de cultures composées d'arbres clones. En effet lorsqu'un arbre est atteint, tout le peuplement suit car chaque arbre dispose de la même vulnérabilité. La graphiose de l'Orme (*Ceratocystis ulmi*) est ainsi responsable de la mort de la quasi-totalité des ormes d'Europe durant les années 1980.

Les proliférations d'espèces comme les grands herbivores (favorisés par la disparition de leurs prédateurs) ou les insectes phytophages (favorisés par les cultures monospécifiques et le réchauffement climatique) peuvent être extrêmement destructrices, comme au Québec où la Tordeuse des bourgeons de l'épinette a provoqué entre 1938 et 1958 la mort de 60 % des sapins (*Abies balsamea*) et de 20 % des épinettes (*Picea mariana* et *Picea glauca*) bien que ces épidémies se produisent dans des forêts naturelles gigantesques et non dans des plantations monospécifiques.

En 1975, 35 millions d'hectares étaient touchés. Ces épidémies sont récurrentes et font partie intégrante de la dynamique de la forêt boréale, mais on estime que le réchauffement de la planète pourrait réduire la période de temps entre deux épidémies en plus d'en augmenter les intensités. Dans le Sud de la France, les années 2003-2006 ont été très chaudes et sèches provoquant des épidémies dévastatrices dans les peuplements d'épicéas communs. Les forestiers locaux estiment que l'épicéa, introduit dans le Sud Massif Central et dans les Pyrénées dans les années 1950-60, pourrait devenir un reliquat d'ici quelques années, créant une pénurie de bois résineux dits « blancs » utiles pour la papeterie.

Les orages secs créent avec leurs éclairs et vents induits des feux de forêts spectaculaires dans les forêts boréales (Canada, États-Unis, Sibérie Orientale et Nord de la Chine) ainsi que dans les forêts tropicales sèches lors de phénomènes macroclimatiques (El Nino en Indonésie). La tempête de 1999 par exemple détruisit 160 millions de m³ de bois rien qu'en France. L'éruption volcanique du mont Saint Helens aux États-Unis provoqua la destruction massive de plusieurs dizaines de kilomètres carrés de bois (Dao, 2004).

1.8. Conséquences

1.8.1. Sur les sols

La déforestation expose davantage les sols aux rigueurs du climat : le lessivage par les pluies non freinées par la végétation emporte l'humus et découvre la roche-mère. Faute de racines pour retenir le sol, les glissements de terrains sont souvent favorisés en bordure de falaise, etc...(Salomon, 1982).

1.8.2. Sur la biodiversité

La déforestation est une destruction d'habitats de milliers d'espèces animales et végétales, souvent condamnées à localement (ou globalement) disparaître. Elle perturbe les équilibres et les assemblages d'espèces, souvent en ajoutant ses effets à ceux de l'agriculture, **du l'urbanisation** fréquemment associées à la déforestation. C'est aussi un facteur de fragmentation éco paysagère, qui diminue la résilience écologique des forêts. Une évaluation porte à 3 le nombre d'espèces disparaissant ainsi chaque heure (soit 72/jour et 26 280 /an). La forêt est en effet le milieu terrestre qui abrite et nourrit le plus d'êtres vivants.

On distingue la « déforestation brute » où les plantations ne sont pas prises en compte, de la « déforestation nette » où celles-ci sont prises en compte, mais une forêt replantée ne remplace jamais une forêt primaire, même en termes de puits de carbone. Un contrôle de la déforestation nette tend à privilégier la fonction de stockage du carbone, en négligeant la perte de biodiversité induite par les destructions des forêts naturelles.

Au début du XXI^e siècle les effets de la déforestation sont encore mal cernés notamment car l'extension des surfaces forestières comme celle de la déforestation ne sont pas des données scientifiquement établies et indiscutables. Le manque de cartographie précise des menaces pesant le plus sur la biodiversité a freiné les stratégies de conservation forestière.

Les modèles écologiques théoriques prédisaient néanmoins une forte diminution de la biodiversité là où les habitats deviennent plus rares, plus petits et plus fragmentés dans le

paysage, avec un risque accru d'effondrement (de la biodiversité) quand ils ne comptent plus que pour 10 à 30 % de ce paysage.

En 2016, les données disponibles confirment l'intuition qu'en forêt tropicale, la biodiversité est mieux conservée dans les paysages peu fragmentés par l'homme, et quand le dérangement humain est minimal (le dérangement peut y doubler la perte de biodiversité liée à la déforestation).

Un an plus tard, la revue Nature publie un travail confirmant que le recul mondial de la forêt naturelle érode de manière « disproportionnée » la biodiversité ; les derniers paysages et forêts intacts devraient être protégés concluent les auteurs. Cette étude s'est basée sur les données les plus récentes disponibles sur les modifications du couvert forestier mondial pour étudier les conséquences du recul de la forêt naturelle ou semi-naturelle sur 19 432 espèces de vertébrés du monde entier figurant dans la Liste rouge UICN des espèces menacées à court ou moyen terme. Sans surprise, là où le couvert forestier recule, les risques qu'une espèce soit classée comme menacée, qu'elle figure dans une catégorie de menace plus élevée et qu'elle présente des populations en déclin augmentent « considérablement ».

Un élément nouveau et important est que cette étude montre que ce risque est « disproportionné » dans des paysages relativement intacts et en particulier dans les hot-spots de biodiversité que sont les immenses massifs forestiers tropicaux de Bornéo, d'Amazonie centrale et Forêt du bassin du Congo ; Partout où des chercheurs ont porté leur regard, même une très faible déforestation (routes, pistes forestières, aires de stockage, petite urbanisation...) a eu de graves conséquences pour la biodiversité des vertébrés (et très probablement donc pour d'autres espèces qui en dépendent).

Les auteurs soulignent qu'ils n'ont pas trouvé d'éléments significatifs en faveur de l'idée reçue qui est que la perte de forêt serait la plus grave et la plus préjudiciable dans les paysages déjà fragmentés ; pour les 3 plus grandes forêts tropicales (de Bornéo, d'Amazonie centrale et du bassin du Congo), au rythme actuel de leur dégradation, une modélisation prédit que rien que pour les vertébrés, 121 à 219 autres espèces rejoindront la liste des espèces menacées dans les 30 prochaines années, et les effets du changement climatique pourraient aggraver les choses, de même que la dette d'extinction. Or l'artificialisation du monde s'aggrave rapidement et seules 17,9 % de ces trois zones sont actuellement formellement protégées et moins de la moitié (8,9 %) ont une protection stricte. De nouveaux efforts de conservation et de restauration de l'intégrité écologique des forêts sont urgemment à mettre en œuvre à grande échelle (mégaréserves naturelles, réellement protégées, déjà suggérées en 2005 par C Peres) « pour éviter une nouvelle vague d'extinction globale » (Salomon, 1982).

1.8.3. Sur le Cycle de l'eau

Les forêts participent activement au cycle de l'eau, dont via l'évapotranspiration et l'infiltration vers les nappes. Les forêts contribuent même plus que tout le reste de la flore au phénomène d'évapotranspiration, qui influence la pluviométrie et ce qu'on appelle les « hydro climats ». Ce sont elles qui entretiennent une hygrométrie élevée, parfois constante, dans les zones tropicales humides, ce qui est une condition favorable à une très haute biodiversité. Leurs racines vont

chercher l'eau jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur, ou de distance et facilitent l'infiltration des pluies (Lambert, 1996).

1.8.4. Pluviométrie et climat

Depuis les années 1980, de nombreux modèles et simulations informatiques laissaient penser que la déforestation récente et actuelle réduit fortement la pluviométrie (théorie « dessiccationniste »). En croisant des analyses satellitaires et météorologiques, les scientifiques ont récemment (2012) confirmé que à grande échelle en zone tropicale (Amazonie et bassins du Congo notamment) la déforestation à cet effet de diminution des pluies, non seulement localement, mais aussi à échelle régionale et jusqu'à des milliers de kilomètres de là, même quand des pâturages ou cultures remplacent ces forêts (les pâtures contribuent en zone tropicale bien mieux que les champs à recharger les nappes, mais les forêts sont encore plus performantes (dix fois plus que les pâtures) ; les forêts tropicales interceptent 50 % environ de la pluie. Cette eau est acheminée vers les nappes ou rendue à l'atmosphère via l'évapotranspiration qui contribue à recharger l'atmosphère en humidité, source de nouvelles pluies (« Sur plus de 60 % des zones tropicales terrestres, l'air qui a circulé sur une zone extensivement végétalisée dans les quelques jours qui précèdent, produit au moins deux fois plus de pluie que de l'air ayant circulé sur une zone peu végétalisée ») (Djohy et al., 2021).

Sur cette base, on peut estimer qu'au rythme actuel de conversion des forêts, le bassin de l'Amazonie (l'un des plus grands du monde) pourrait subir une perte d'environ 12 % de sa pluviométrie en saison des pluies, et une baisse de 21 % en saison sèche en 2050. Et il faut s'attendre à ce que des réductions s'étendent jusqu'au bassin hydrographique du Río de la Plata à des milliers de kilomètres au sud de l'Amazonie, dans le sud du Brésil, au nord de l'Argentine, du Paraguay et de l'Uruguay. Si le Brésil respecte son engagement à limiter les taux « historiques » de déboisements (de 80 %) d'ici l'an 2020, ces prévisions pourraient cependant être revues à la baisse (Djohy et al., 2021).

1.8.4. Conséquences sanitaires pour les populations locales

Une étude scientifique publiée par l'American society of tropical medicine and hygiene (en) rapporte que la déforestation a un lien direct avec la propagation du paludisme dans l'Amazonie péruvienne. Partant du constat que, dans les zones déboisées, le taux de moustiques porteurs de la malaria est 278 fois supérieur à celui relevé dans les zones boisées, cette étude montre que le nombre de moustiques contaminés est inversement proportionnel à la densité de boisement de la zone où ils évoluent. La déforestation amènerait donc un risque sanitaire supplémentaire aux populations vivant à proximité des zones déboisées.

De plus, une autre étude de l'université McGill de Montréal rapporte que les méthodes d'extraction pétrolières, la construction de routes ainsi que l'urbanisation qui provoquent la déforestation auraient pour conséquence de libérer du mercure et de l'1-hydroxypyrene dans les cours d'eau. Une fois ces poisons libérés dans l'eau, ils seraient absorbés par les poissons dont

se nourrissent les populations vivant aux abords de ces cours d'eau. Ces populations absorberaient donc des taux de mercure et d'1-hydroxypyrene dépassant les taux maximaux recommandés par l'OMS.

1.9. Tentatives de solutions

L'objectif zéro déforestation

Plusieurs organisations et ONG préconisent un objectif « zéro déforestation ». En 2010 le Consumer Goods Forum (en), qui regroupe des grandes entreprises totalisant 10 millions d'employés sur 70 pays, propose une déforestation nette de zéro pour 2020. Bien que soutenu par le gouvernement des États-Unis, cette initiative à cause de la complexité à du mal à se mettre en place. En 2013 l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) propose un « zéro déforestation illégale » afin de préserver les écosystèmes et les ressources en bois et en eau de populations souvent très pauvres. La FAO propose également une lutte contre les Feux de forêts qui vont devenir de plus en plus importants avec le réchauffement climatique notamment dans le bassin méditerranéen.

Greenpeace lance « la loi Zéro déforestation » au Brésil pour contrer un doublement des investissements dans le secteur bovin et les infrastructures comme les routes et barrages qui en sont la cause et essaye de réunir 1,4 million de signatures. Greenpeace a réussi à obtenir des objectifs zéro déforestation de la part de grandes entreprises de la mode ou productrice d'huile de palme ou de pâte à papier lors de brumes sèches de pollution en Asie du sud .

La fin de la déforestation fait l'objet d'une cible de l'Objectif de développement durable n° 15 de l'ONU (**Karsenty, 2022**).

Protection légale des forêts

La protection légale des forêts, via la création de parcs ou de réserves naturelles, est un outil utilisé dans le monde entier pour réduire la déforestation et la dégradation des forêts.

La protection légale est efficace pour conserver le couvert forestier, d'après les images satellite. Il y a significativement moins de destruction de forêt dans les aires protégées, mais on ne sait pas si elles sont vraiment la cause de la sauvegarde des forêts observée statistiquement. La protection sur le papier n'est pas suffisante, elle doit être accompagnée de fonds, d'une gestion et être appliquée sur le terrain par du personnel.

En Afrique, l'efficacité des aires protégées est bonne, 69 % des parcs n'ont pas subi de déforestation, selon une analyse de 224 parcs africains, publiée en 2016. Cependant seuls 25 % font mieux que les zones équivalentes situées à proximité, la clé du succès pourrait être l'accessibilité difficile de ces parcs et le fait qu'ils soient situés dans des zones peu habitées. Les parcs plus grands ou en réseau ont de meilleurs résultats, les parcs créés avant les

décolonisations font eux significativement moins bien que leurs homologues plus récents (Roselyne, 2022).

Exploitation durable des forêts

Il existe plusieurs systèmes de certification (qualifiés d'éco-certification) des exploitations forestières dont l'objectif est de favoriser une exploitation durable des forêts. Ces certifications imposent souvent que des arbres soient replantés après coupe, c'est le cas du label FSC (qui comprend d'autres volets) à l'échelle mondiale ou du label PEFC de l'UE.

Formée en 1989 en Slovaquie, l'association européenne ProSilva propose un ensemble de mesures spécifiques ayant pour objectif de gérer les forêts de manière plus pertinente. Implantée dans 24 pays en Europe, cette sylviculture entend maximiser à la fois la production et la protection des forêts. ProSilva privilégie donc une production rentable et continue de gros bois de qualité, généralement très recherché à l'exportation, tout en protégeant l'eau, les sols et la biodiversité forestière (Bayoi et al., 2021).

Reboisement, reforestation

Le Défi de Bonn est un effort mondial de reboisement sur des sols déforestés et/ou dégradés. Lancé par l'UICN et l'Allemagne en 2011, il visait à restaurer en moins d'une décennie (2011 et 2020) 150 millions d'hectares de paysages forestiers sur des terres dégradées et déboisée. Puis la Déclaration de New York sur les forêts (lors du Sommet sur le climat de 2014) lui a ajouté à un objectif 200 millions d'hectares supplémentaires à boiser avant 2030 ; cette déclaration a par la suite été approuvée par plus de 100 gouvernements, organisations de la société civile et organisations autochtones et entreprises privées. Son objectif est donc désormais de reboiser 350 millions d'hectares avant 2030 (Mariem et al., 2022).

Chapitre 2 :

Destruction des sols

Chapitre 2. Destruction des sols

2.1. Formes et processus de dégradation des sols

La dégradation des sols en zone de culture pluviale est due principalement à des méthodes d'exploitation des terres inappropriées dont les effets néfastes peuvent être accentués par la péjoration des conditions climatiques.

Mais avant d'examiner les moyens de remédier à cette dégradation, il convient d'en identifier clairement les différentes formes et les mécanismes qui les génèrent.

La dégradation des sols résulte de processus physiques, chimiques et biologiques en interaction qui affectent leur productivité et diminuent leur fertilité (Tsewoue et al., 2020).

2.1.1. La dégradation physique des sols

La forme la plus commune et la plus répandue de la dégradation des sols est l'érosion. On estime qu'elle affecte 84 % des sols dégradés (Steiner & Williams, 1996).

Cette érosion se manifeste par un transport des matériaux des couches superficielles du sol.

Ce transport **peut être** d'origine hydrique ou éolienne. Bien que ce processus soit à l'origine de nombreux sols sur la planète, il devient néfaste lorsque, accéléré par l'intervention de l'homme, il entraîne une perte de matériaux, quantitative et qualitative, préjudiciable à la productivité des sols.

L'importance relative de ces deux types d'érosion dépend de plusieurs facteurs (degré d'aridité, nature des sols) qui devront être pris en compte dans le raisonnement et la contextualisation des techniques de lutte (Figure N° 2)(Steiner & Williams, 1996).

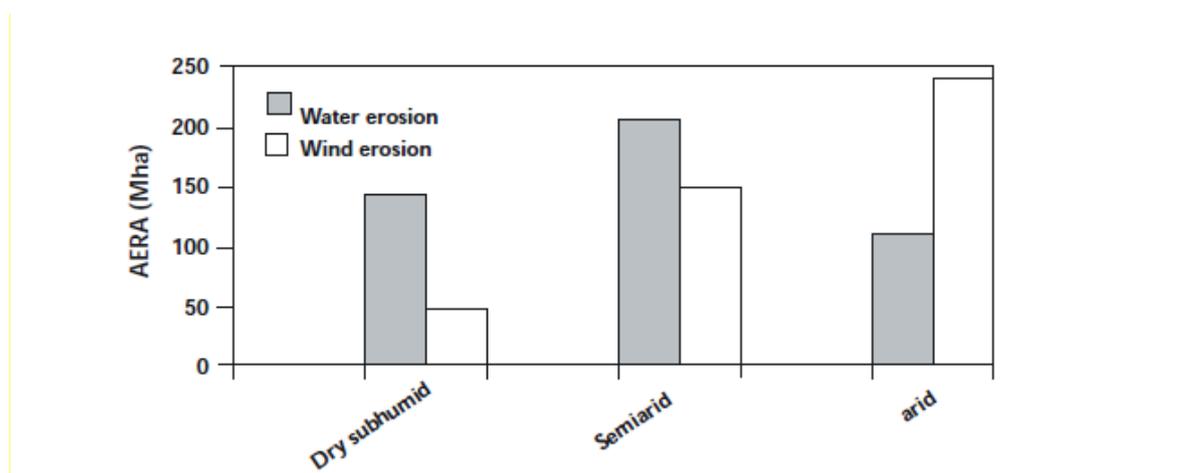


Figure 2: importance du type d'érosion en fonction de l'aridité du climat.(Steiner & Williams, 1996)

- L'accroissement du **ruissellement** est l'une des principales causes de **l'érosion hydrique**. L'intensité du ruissellement dépend de caractéristiques naturelles : régime

pluviométrique, topographie des sols mais aussi de facteurs directement liés aux activités humaines et en particulier aux modes de culture.

Ainsi l'accroissement du ruissellement peut résulter d'une diminution de l'infiltration de l'eau consécutive à la dégradation des états de surface du sol (battance, croûtes...) et/ou de la déstructuration des horizons du sol entraînant une baisse de porosité.

La nature de la couverture végétale (densité, durée) a également un effet important sur l'intensité de l'érosion en réduisant le ruissellement mais aussi en diminuant l'impact des gouttes de pluie.(Steiner & Williams, 1996).

Ces différents mécanismes sont schématisés dans la figure N°3 :

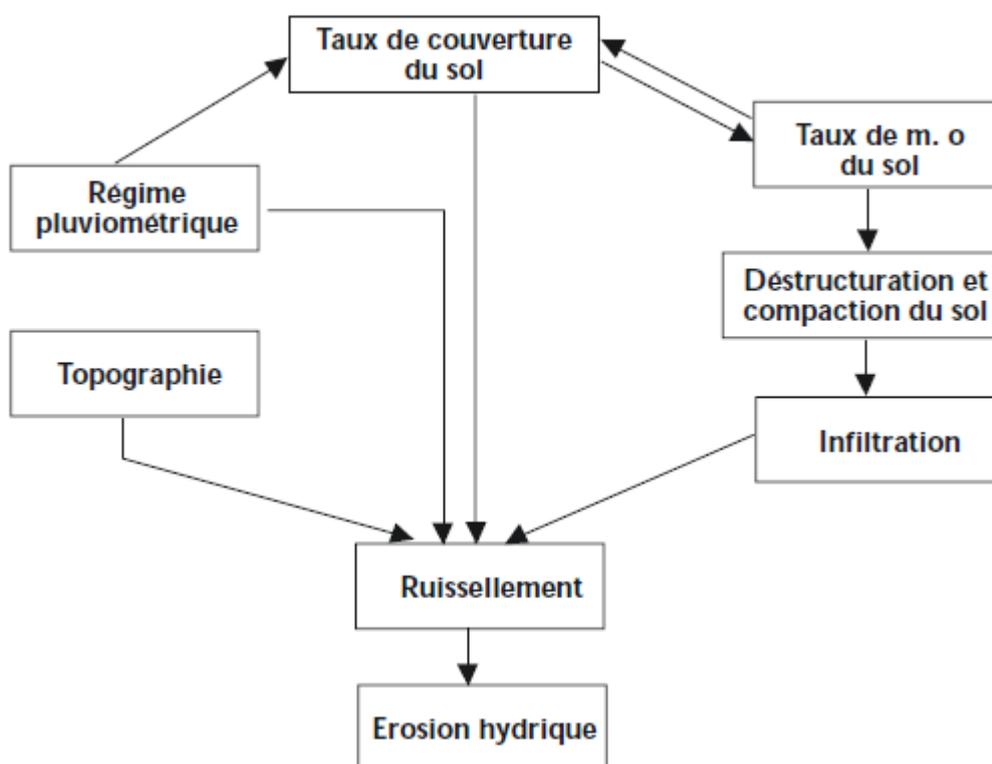


Figure 3: Processus général de l'érosion hydrique du sol.(Steiner & Williams, 1996).

• **L'érosion éolienne** bien que moins spectaculaire que l'érosion hydrique, est une forme de dégradation qui a tendance à s'accroître avec l'accentuation de l'aridité.

Elle provoque un tri sélectif des matériaux déplacés en entraînant préférentiellement les particules les plus fines du sol. Ce processus affecte à la fois les caractéristiques physiques mais aussi chimiques et biologiques des sols.

- Une autre forme de dégradation physique des sols est **la compaction**, c'est-à-dire la diminution de porosité du sol.

Cette altération physique du sol est en interaction avec la précédente dans la mesure où la diminution de porosité du sol, réduit l'infiltration de l'eau ce qui favorise le ruissellement et l'érosion hydrique.

Mais elle affecte aussi la colonisation du sol par les racines des plantes cultivées, réduisant leur résistance au stress hydrique et leur capacité d'extraction d'éléments minéraux. Il en résulte une baisse de productivité du sol.

Les facteurs qui influent sur l'intensité de cette dégradation sont tout d'abord la nature même des matériaux constitutifs du sol et leur proportion (les sols limoneux et les sols à argiles non gonflantes sont particulièrement sensibles à la compaction). L'autre facteur en interaction avec le précédent est le mode d'exploitation du sol. La compaction du sol peut résulter d'un pâturage mal conduit mais elle est le plus souvent due à des interventions culturales faites avec du matériel lourd dans des conditions défavorables (sol insuffisamment ressuyé).

Cette dégradation plus insidieuse que l'érosion affecte de très vastes superficies en culture mécanisée (cas du Brésil) par contre dans les pays en développement où la culture est manuelle ou attelée, ce type de dégradation est de moindre importance (Tsewoue et al., 2020)

2.1.2. Dégradation chimique des sols

Comme la dégradation physique, celle-ci peut prendre différentes formes en interaction les unes avec les autres.

La perte d'éléments fertilisants

Les régions concernées par la désertification ont en général des sols qui ont une faible réserve en nutriments. Cette faiblesse s'explique par le fait que ces sols, souvent très anciens, sont en grande partie altérés et n'ont donc pas une grande capacité à libérer des éléments nutritifs. Dans de nombreux cas, cette faiblesse se traduit par des carences en éléments majeurs comme le phosphore, le potassium ou le calcium. De plus leur composition granulométrique et leur faible teneur en matière organique (spécialement en zone aride) leur confèrent une capacité d'échange cationique (CEC) faible.

La mise en culture de ces sols entraîne nécessairement une exportation d'éléments minéraux. L'apport de fertilisants minéraux et organiques étant limité, cette exportation n'est pas compensée. Il en résulte une baisse de fertilité minérale des sols, qui est d'autant plus rapide que la CEC et les réserves du sol en éléments minéraux sont faibles.

Cette chute de fertilité induit un double processus régressif, d'une part l'acidification des sols d'autre part la baisse de biomasse et donc de matière organique recyclable (El Mazi et al., 2021).

L'acidification des sols

Celle-ci résulte de la substitution des bases échangeables fixées sur le complexe absorbant du sol par des ions H^+ . On vient de voir que cette acidification est une conséquence directe de la mise en culture des sols par suite du prélèvement, sans restitution, de nutriments du sol et de la baisse du taux de matière organique. Ce phénomène peut être accéléré par l'utilisation d'engrais minéraux acidifiant le sol (urée, sulfate d'ammonium) Cette acidification s'accompagne généralement d'une mise en solution de l'aluminium contenu dans le sol et de la saturation de la CEC en cet élément ce qui induit une toxicité pour les plantes diminuant la productivité du sol.

Cette chute de la fertilité des sols suite à une mise en culture inappropriée, constitue une forme de dégradation des sols qui si elle n'est pas la plus répandue en surface ni la plus visible, est probablement celle qui a le plus d'impact sur le niveau de vie des agriculteurs puis qu'elle affecte directement le rendement de leurs cultures. Cette baisse de rendement incite les agriculteurs à étendre les superficies cultivées au détriment des terrains de parcours et des forêts et à accentuer leur pression sur les autres ressources de leur milieu notamment les ressources ligneuses (vente de bois et de charbon de bois).(Figures 4 et 5).(Biaye et al., 2021)

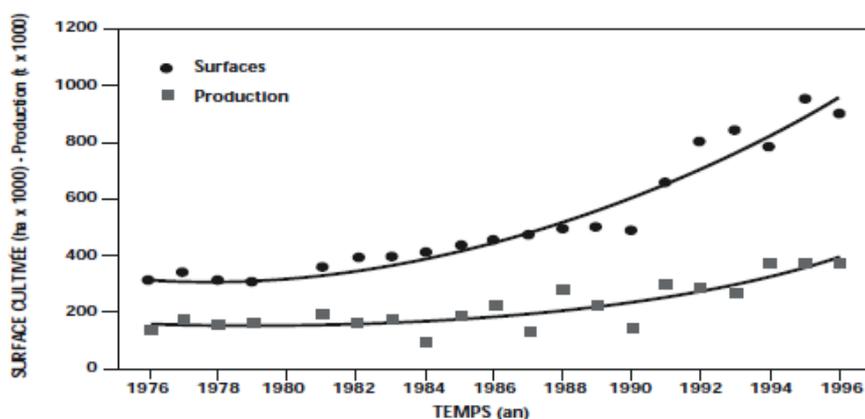


Figure 4: Surface cultivée en mil et rendement total du département de Tahoua (Niger)(Biaye et al., 2021).

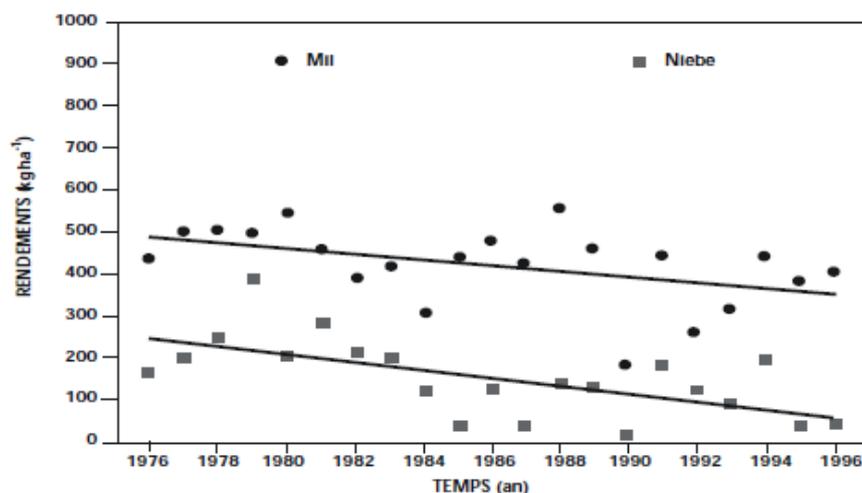


Figure 5: Rendement à l'hectare du mil et u niébé dans le département de Tahoua(Biaye et al., 2021).

2.1.3. Dégradation biologique des sols

Celle-ci se manifeste essentiellement par la baisse du taux de matière organique (mo.) du sol. En effet, la mise en culture des terres en zones tropicales et arides entraîne généralement une diminution du taux de mo du sol.

Or ce mo joue un rôle essentiel dans l'entretien de la fertilité du sol : Elle favorise le maintien de sa structure et donc limite sa dégradation physique, elle participe de façon significative à la CEC du sol, c'est à dire à sa capacité de fixer des nutriments, elle limite l'acidification du sol, alimente la microfaune du sol et par sa minéralisation fournit des éléments fertilisants aux cultures(Vasselon et al., 2019).

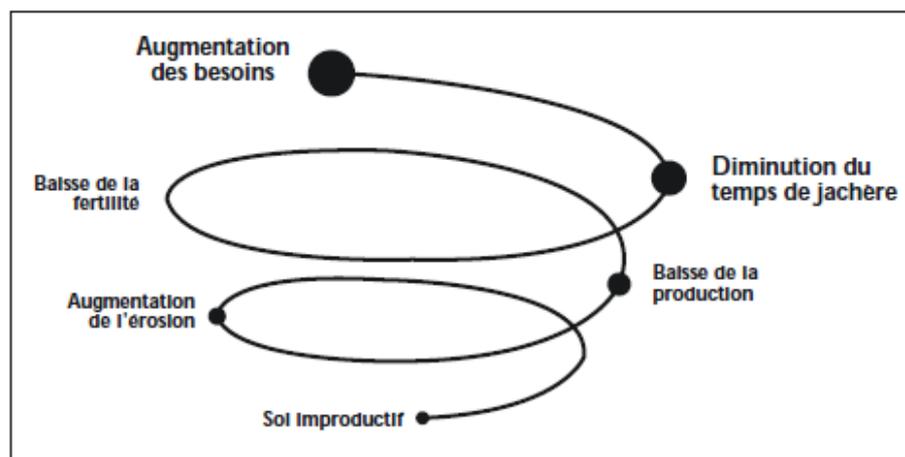


Figure 6: Cercle vicieux de la dégradation des sols. (Vasselon et al., 2019).

En conséquence maintenir, voire améliorer le taux de mo du sol c'est contribuer, de différentes manières, à améliorer sa fertilité, en revanche laisser ce taux décroître c'est favoriser toutes les formes de dégradation du sol présentées précédemment.

Ce constat est à la base des deux scénarios qui sont habituellement faits en matière de perspectives d'évolution des zones touchées par la désertification où le cercle vicieux de la dégradation, quand le taux de mo baisse, est opposé au cercle vertueux de la régénération quand ce taux augmente (Figure N°6).

Une autre forme de dégradation biologique des sols est la diminution des microorganismes et de la microfaune du sol en particulier les termites qui jouent un rôle important dans le recyclage de la matière organique et la structuration du sol.

Les techniques de régénération des sols dégradés. Il existe une gamme assez large de techniques de régénération des sols dégradés.

Compte tenu de l'orientation donnée à notre démarche, qui met l'accent sur les conditions de mise en œuvre de ces techniques plus qu'à leur analyse détaillée, nous nous contenterons ici de répertorier ces techniques en fonction des différentes formes de dégradation des sols présentées précédemment.

L'établissement d'une base de données sur les documents de référence concernant la lutte contre la désertification permettra aux opérateurs de développement d'accéder à des

informations plus détaillées sur la nature de ces techniques et les résultats expérimentaux concernant leur efficacité (Pessis, 2021).

2.2. L'inventaire des techniques de restauration des sols dégradés peut se faire suivant différents critères :

On peut les classer :

- Par leurs effets spécifiques sur tel ou tel type de dégradation (érosion, acidification etc.)
- Suivant qu'elles sont mises en œuvre à l'échelle des parcelles cultivées d'une exploitation et procèdent d'initiatives individuelles ou suivant qu'elles relèvent d'action collective et d'interventions conçues à l'échelle locale (terroirs, territoires

Villageois, bassins versants...).

C'est à partir de ces deux modes de classification qu'a été établi le tableau ci-après (cf. figure 7) des techniques de régénération des sols dégradés.

Il peut être également intéressant de classer ces techniques suivant qu'il s'agit de **techniques exogènes** ou au contraire de **techniques traditionnelles** résultant de l'expérience des paysans, qui sont, en général, plus facilement adoptées.

Ainsi on peut classer dans cette deuxième catégorie les techniques du zaï, du paillage (que certains paysans appellent "pansement su sol"), de la protection des rejets naturels sur les zones de culture (appelée aussi défrichement amélioré).

| Formes de dégradation Techniques | Dégradation Physique | | | Dégradation chimique | | Dégradation biologique | | | Effets sur l'économie de l'eau | | |
|---|----------------------|----------|-------------------------|----------------------|---------------|------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------|---------------------|
| | Erosion hydrique | éolienne | Compaction encroûtement | Eléments minéraux | Acidification | Matière organique | Micro-organismes Faune du sol | Couvert végétal | Stockage Diminution du ruissellement | Enracinement | Efficience de l'eau |
| Techniques mises en œuvre à l'échelle des exploitations - Cordons pierreux - Zaï ou tassa - Mulch, paille - Compostière, fosse fumière - Protection des rejets naturels (défrichement amélioré) - Travail du sol (billons cloisonnés etc.) | ++ | | | + | (+) | (+) | (+) | | + | | |
| | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + |
| | + | + | | + | + | ++ | + | | + | | ++ |
| | + | | ++ | + | | + | | | + | + | + |
| Techniques relevant d'actions collectives Régénération des terrains en amont des zones de culture - sous-solage - aménagement du terrain . terrasses . banquettes . demi-lunes - revégétalisation du sol . plantation d'arbres - Correction des ravines | + | | + | | | | | + | + | | |
| | + | | | | | | | | | | |
| | + | | | | | | | | | | |
| | + | | | | | | | | | | |

Figure 7: Techniques de luttres contre la dégradation des sols.

Association de techniques

Ces différentes techniques sont souvent utilisées de façon associée soit pour renforcer leur efficacité comme dans le cas de l'association sur une même parcelle, du zaï, des cordons pierreux et de la protection des rejets naturels, soit parce que certaines techniques préparent ou facilitent des interventions ultérieures.

Ainsi la récupération des terres dégradées en amont des terres de culture est souvent précédée d'un sous-solage mécanique permettant la plantation d'arbres et d'herbacées.

Régénération des sols et valorisation de l'eau pluviale

La dégradation des sols cultivés qui est une des principales manifestations de la désertification, se traduit par une baisse de productivité de ces sols. La finalité des techniques de régénération, consiste précisément à restaurer la capacité productive de ces sols c'est à dire leur fertilité et cela, si possible de façon durable.

Mais dans les zones arides et semi-arides qui sont les zones les plus affectées par la désertification, la productivité des terres cultivées dépend en grande partie d'une autre ressource que le sol, qui est la ressource en eau provenant des précipitations.

Notre capacité d'action directe sur cette ressource demeure très limitée, par contre l'efficacité (en termes de production de biomasse) d'une quantité donnée d'eau pluviale peut-être très différente suivant l'état physique, chimique et biologique du sol.

On voit qu'il existe une interaction forte entre les techniques de régénération des sols et la valorisation des eaux pluviales. La lutte contre la désertification, en zone cultivée, passe donc par l'amélioration de l'efficacité de l'eau pluviale.

Les stratégies à adopter pour atteindre cet objectif sont très directement liées aux conditions de milieu, c'est donc un domaine où la contextualisation des interventions en matière de lutte contre la désertification, est particulièrement importante comme nous le verrons plus loin.

Cette contextualisation nécessite d'explicitier les nombreuses interactions existantes entre l'état de la ressource en sol et la valorisation de la ressource en eau. Nous nous limiterons à en donner deux exemples :

- Les techniques de lutte contre le ruissellement n'ont pas seulement pour objet de réduire l'érosion hydrique, elles favorisent aussi l'emménagement de l'eau. Les pertes par ruissellement peuvent atteindre 40 % des précipitations, en zone aride où les précipitations satisfont moins de la moitié des besoins en eau des cultures.

Réduire ces pertes c'est donc améliorer considérablement la productivité des sols.

- Autre exemple, restaurer la fertilité minérale et organique des sols cultivés, c'est, sauf cas particulier, accroître de façon sensible l'efficacité des pluies et en définitive le rendement des cultures. En effet sur des sols désaturés ayant perdu l'essentiel de leur fertilité comme c'est souvent le cas des sols sableux des zones sahéliennes, après quelques années de culture sans

restitution, la productivité des terres reste faible quel que soit la quantité de pluie tombée (AOUADJ, 2021).

3. La désertification

3.1. Définitions et caractéristiques générales de la désertification

D'après le dictionnaire (Nouveau Petit Robert, 1993), la désertification se définit comme "la transformation d'une région en désert, sous l'action de facteurs climatiques ou humains".

Dans le domaine scientifique, le concept est employé depuis une cinquantaine d'années mais début des années 1980, la désertification était présentée comme une avancée du désert sur les terres productives. Ce phénomène n'a cependant jamais été prouvé scientifiquement. Il semblerait plutôt que les limites des déserts avancent ou reculent naturellement en fonction de la variation des précipitations (Tucker et al., 1991).

Bien que mise en avant par Auberville dès 1949, l'idée que la désertification n'est pas une extension des déserts existants mais résulte d'une transformation du milieu liée à l'action de l'homme, ne s'est développée qu'au cours de ces vingt dernières années. Les définitions se sont alors succédé, différant aussi bien sur les causes et les impacts du phénomène, que sur son extension géographique (tableau 1) (Reynolds, 2021).

Tableau 1: Exemples de définitions de la désertification.

| Aire géographique | Causes | Impacts | Référence |
|------------------------------------|--|--|-------------------------|
| aride et semi-aride | action humaine ou changement climatique | diffusion de conditions désertiques, avancée du désert | Rapp, 1974 |
| terres sèches | processus naturel et anthropique | développement de conditions désertiques et déclin durable du rendement des principales cultures | Warren et Maizels, 1977 |
| aride, semi-aride et subhumide | action humaine | changement des caractéristiques des terres allant vers des conditions plus désertiques, un écosystème appauvri (productivité réduite) et une détérioration accélérée des sols et systèmes de production associés | Mabutt, 1984 |
| tous écosystèmes | action humaine | productivité réduite des cultures, altération de la biomasse et de la biodiversité, érosion accélérée du sol et accroissement des risques liés à l'occupation humaine | Dregne, 1978 |
| aride, semi-aride et subhumide | action humaine et processus naturel | changements irréversibles du sol et de la végétation, avec une diminution de la productivité biologique, pouvant aboutir, à l'extrême, à la formation d'un désert | Rozaanov, 1982 |
| aride, semi-aride et subhumide | action humaine et variations climatiques | développement de terres improductives et réduction de la productivité | Ahmed et Kassas, 1987 |
| aride, semi-aride et subhumide | action humaine | dégradation durable des terres entraînant un déclin du potentiel de production difficilement réversible | Nelson, 1988 |
| aride, semi-aride et subhumide sec | action humaine | dégradation des terres | Dregne et al., 1991 |
| zone de sécheresse | action humaine et processus naturel | déclin irréversible ou destruction du potentiel biologique des terres et de leur capacité à supporter les populations | Mainguet, 1994 |

Source : Katyal et Vitek, 2000

La définition de référence adoptée actuellement est celle établie lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) qui s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992 :

“Le terme désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines”.

Cette définition est aujourd'hui reconnue et utilisée à l'échelle internationale. Cependant, certains points doivent être précisés pour une meilleure compréhension du phénomène.

3.2. Processus ou état ?

Le terme “désertification” peut être entendu comme un processus (phénomène naturel marqué par des changements réguliers aboutissant à un résultat spécifique) ou un état, crée par la dégradation des terres. Ainsi, Rozaanov (1982) emploie ce terme dans le sens d'un processus de conversion de la terre en désert. La prise en compte de cette différence de sens est importante par rapport aux stratégies de lutte à développer. En effet, lutter contre la désertification entendue comme un état revient à corriger une situation existante (état désertifié), alors que lutter contre

la désertification en tant que processus signifie stopper ou renverser des mécanismes en cours (Reynolds, 2021).

3.3. Réversibilité ou irréversibilité ?

Tout milieu naturel possède une capacité de régénération (résilience) lui permettant de résister aux agressions. La désertification correspond en fait à une perte partielle ou totale de cette capacité sous l'effet d'activités humaines dépassant les limites d'une exploitation supportable. La résilience d'un milieu est cependant variable en fonction de ses propriétés intrinsèques et de l'utilisation qui en est faite. Par ailleurs la résilience est d'autant plus faible que les conditions climatiques sont défavorables.

L'évaluation de l'état de dégradation des terres est complexe. De nombreux indicateurs ont été élaborés, mais peu sont réellement utilisés, faute de moyens (Cornet, 1996). Parmi l'ensemble des critères possibles, l'étude de l'évolution de la productivité du milieu a permis de caractériser plusieurs stades de désertification, allant d'une situation aisément réversible à un état totalement irréversible (Dregne, 2020) (Tableau N°2).

Du fait des risques réels de passage d'une situation de dégradation réversible vers une situation irréversible, l'ensemble de ces quatre stades doit être pris en compte dans la lutte contre la désertification.

Tableau 2: Les différents stades de désertification.

| Stade de dégradation | Perte durable de productivité | Caractérisation |
|----------------------|-------------------------------|---|
| légère | (10) - 15 % | facilement réversible en adaptant les pratiques agronomiques |
| modérée | 20 - 33 % | réversible grâce à des aménagements améliorateurs à l'échelle de l'exploitation |
| sévère | 50 - 66 % | difficilement réversible, nécessité de travaux majeurs au coût élevé |
| très sévère | > 66 % | irréversible |

Source : Dregne et Chou (1992)

3.4. Impact de l'homme

Selon les définitions, le rôle de l'homme dans le processus de dégradation des terres est plus ou moins mis en avant par rapport à des causes "naturelles" telles que les variations climatiques. Ainsi, d'après la FAO (1976), les terres se dégradent lorsque l'utilisation qui en est faite par les hommes n'est pas compatible avec leurs caractéristiques.

Si l'on compare, à l'échelle mondiale, l'évolution de la démographie à celle de la superficie des terres arables, il apparaît que la disponibilité en terres arables par tête a fortement diminué depuis les années 1950. Cette tendance devrait être de plus en plus marquée à l'avenir dans les

pays en développement, où le taux de croissance de la population est le plus élevé (UNDP, 1998).

Elle est à l'origine d'une pression foncière croissante pouvant, dans certains cas, conduire à une surexploitation des terres (intensification irraisonnée, exploitation de terres peu aptes à la mise en culture...) entraînant une baisse de productivité : scénario de type néo-malthusien.

Cependant certaines études ont montré qu'elle peut aussi être le facteur d'une intensification de l'exploitation du milieu et, au contraire, favoriser sa mise en valeur.

Ce débat sur les relations entre accroissement démographique et dégradation des terres est loin d'être clos, mais on commence à mieux comprendre dans quelles conditions prévaut.

3.5. Aires géographiques concernées

D'après la définition de la CNUED, la désertification peut toucher les zones au climat aride, semi-aride ou sub-humide sec. L'aridité se définit comme un déficit pluviométrique structurel par rapport aux besoins en eau de la végétation naturelle et cultivée, qui peut prendre des formes diverses en fonction des caractéristiques régionales de pluviométrie et de température

carte de l'aridité mondiale de l'UNESCO, 1977 (White, 1986). Elle correspond en fait aux zones pour lesquelles le ratio P/ETP (précipitation / évapotranspiration potentielle) est compris entre 0,05 et 0,65 (les régions polaires et sub-polaires étant évidemment exclues).

70 % de ces surfaces, soit environ 3592 millions d'hectares, seraient affectées par des phénomènes de désertification modérée à très sévère (UNEP, 1991)(Helldén, 1991).

La désertification étant avant tout le résultat d'activités humaines, dans le cadre de l'étude CSFD/AFD, il est apparu pertinent de l'étudier en distinguant les trois grands domaines d'activité où elle se manifeste (Tableau N° 3) :

- zones pastorales
- zones de cultures pluviales
- zones irriguées

Cette distinction est utile pour réfléchir à l'opérationnalité de la lutte, dans la mesure où les causes et les modalités de la désertification et, par voie de conséquence, les méthodes de lutte, sont en grande partie spécifiques à chacun de ces trois grands domaines.

Tableau 3: Importance de la désertification par grandes zones d'activités.

| | Cultures pluviales | Culture irriguée | Pâturages |
|---------------------------|--------------------|------------------|-----------|
| surface totale (Mha) | 457 | 145 | 4556 |
| surface dégradée (Mha) | 216 | 43 | 3333 |
| réversible (% du total) | 46 | 28 | 72 |
| irréversible (% du total) | 1 | 1 | 2 |

Source : Katyal et Vitek, 2000

3.6. Mécanismes

Les mécanismes et les formes de dégradation des terres diffèrent en fonction des activités humaines pratiquées.

Zones pastorales

La désertification est essentiellement liée à une surcharge animale et un surpâturage de ces zones sans temps de repos suffisant pour leur permettre de se régénérer. Ce phénomène est essentiellement imputable à une absence de gestion raisonnée des pâturages - notamment des pâturages collectifs -, ainsi qu'à l'accroissement des effectifs pouvant être favorisé par certaines politiques d'intervention (transport d'eau par camion ou subvention des aliments).

Il est aggravé par l'existence d'une concurrence entre l'élevage et d'autres activités humaines exploitant le milieu (telles que la cueillette, la collecte de combustible, la mise en culture, etc.) ainsi que par la diminution de la mobilité des troupeaux.

Dans les zones pastorales, la désertification se traduit essentiellement par :

- **Une dégradation de la végétation** : perte de biodiversité ; plus forte variabilité de la production herbacée en réponse aux fluctuations climatiques et capacité de remontée biologique réduite ; phytomasse exploitable trop faible par rapport aux potentialités et en diminution sur le long terme ;

- **Une dégradation des sols** liée à la diminution du couvert, favorisant des processus d'érosion.

- **Une diminution de la régénération des aquifères**, consécutive aux transformations du couvert végétal et du sol.

Pour faire face à ces phénomènes, il paraît indispensable d'amener les différents utilisateurs de l'espace pastoral à se concerter en vue d'une exploitation raisonnée des ressources du milieu (terres, fourrages, eau) conduisant à la mise en place de règles et d'instances de contrôle de l'utilisation de ces ressources. Il paraît aussi nécessaire de gérer la taille des effectifs en adéquation avec les capacités du milieu et le système agropastoral en place.

Zones de cultures pluviales

La désertification se manifeste principalement par la dégradation des sols, résultant de modes d'exploitation inappropriés des terres : sol laissé nu, travail du sol non adapté, mauvaise gestion de la biomasse... Cette dégradation des sols peut être de différente nature :

- **Physique** : principalement due à l'érosion hydrique (résultant d'une augmentation du ruissellement) ou éolienne (dominante dans les zones les plus arides), mais pouvant aussi prendre la forme d'une compaction des sols ;

- **Chimique** : dans des sols généralement pauvres, perte d'éléments minéraux utilisés par les cultures non compensées par des apports de fertilisants ; acidification des sols avec risque de toxicité par mise en solution de l'ion l'aluminium ;

- **Biologique** : baisse du taux de matière organique qui aggrave les dégradations physiques et chimiques (par suite d'une déstructuration du sol et d'une diminution de la Capacité d'Echange Cationique, CEC).

Cette dégradation des sols est amplifiée par des conditions climatiques défavorables et affecte fortement la valorisation de l'eau pluviale par les cultures (fortes interactions entre alimentation hydrique et minérale).

La dégradation des terres en zone de cultures pluviales peut générer un "cercle vicieux de la dégradation des sols". Cependant, celui-ci peut être inversé ("cercle vertueux") par la mise en application de pratiques culturales adaptées, visant notamment à restaurer un taux de matière organique convenable du sol.

En zones de cultures pluviales, la désertification se traduit également par une dégradation de la végétation naturelle avec notamment la diminution du couvert ligneux (haies, arbres...) pouvant aggraver les phénomènes d'érosion et engendrer une pénurie de bois (combustible, construction...).

➤ **Zones irriguées**

L'irrigation des zones sensibles à la désertification présente des risques plus ou moins grands en fonction des caractéristiques initiales du milieu dans lequel elle est développée (qualité de l'eau d'irrigation et type de sols). Les flux d'eau artificiels peuvent en effet modifier considérablement les conditions d'évolution des sols et entraîner différentes formes de dégradation :

- **Dégradations physiques** : semelle d'irrigation, croûte de battance ou érosion suite à des pratiques d'irrigation inadaptées ;

- **Salinisation** : concentration de sels dans le sol. Ces sels peuvent préexister dans le sol (salinité primaire) ou être apportés par l'eau d'irrigation (salinité secondaire).

Dans le premier cas, la salinité primaire est remobilisée et ramenée en surface s'il y a remontée des nappes suite à l'irrigation ; dans le second cas, l'évaporation de l'eau d'irrigation entraîne une accumulation résiduelle des sels dans les horizons supérieurs des sols.

La salinisation peut prendre deux voies distinctes en fonction de la nature des sels :

- Voie neutre : précipitation de sels neutres (sulfates, chlorures) à un pH voisin de la neutralité. Cette salinisation du sol, dont les effets sont proportionnels à la concentration en sels, est aisément perceptible sur le terrain et elle est réversible.

- Voie alcaline en présence de carbonates. Ces derniers précipitent, entraînant une augmentation du pH et de la concentration en sodium. Lorsque le sodium devient trop abondant par rapport aux autres cations (sodisation), les risques de dégradation irréversible du sol sont élevés. En effet, tout dessalage (lessivage) provoque alors une déstructuration complète du sol et une phytotoxicité élevée.

La voie alcaline, bien que peu fréquente, a des conséquences graves et peut se manifester soudainement du fait de son effet de seuil.

Les périmètres irrigués sont enfin sujets aux risques d'ensablement, liés aux conditions climatiques et géomorphologiques de la zone.

La dégradation des terres dans les zones irriguées peut être évitée par la mise en place d'un drainage adapté (méthode coûteuse mais rentable à long terme). La salinisation et le risque de sodisation sont de plus prévisibles : une étude de la qualité de l'eau d'irrigation et de la nature des argiles du sol permet en effet de connaître la voie saline susceptible d'être empruntée.

Enfin, la dégradation des périmètres est souvent liée à des problèmes de gestion de l'eau et d'organisation des usagers, qui doivent absolument être pris en compte.

La désertification des zones irriguées est donc un phénomène en grande partie prévisible, qui peut être évité grâce notamment à un bon diagnostic préalable...

3.6. Interactions

Dans chacun des domaines considérés, la dégradation des terres se caractérise par une interaction entre les divers processus. Ainsi les différents mécanismes de dégradation des sols (physiques, chimiques et biologiques) sont en interaction. Dégradation des sols et dégradation de la végétation s'amplifient mutuellement, provoquant souvent une mauvaise valorisation de la ressource hydrique.

La désertification est donc le résultat de transformations complexes du milieu, sous l'action de facteurs humains et environnementaux variés.

La désertification : un enjeu politique et de développement, des interprétations abusives du concept.

Depuis qu'il a été mis en évidence, le problème de la désertification a suscité de nombreux débats sur la façon de le résoudre. Cependant, comme l'ont montré Warren et Agnew (1988), le flou entourant la notion de désertification a parfois permis à certaines institutions - nationales ou internationales - d'en user à des fins toutes autres que celles de lutter contre la dégradation des terres. Ainsi, la désertification a été parfois invoquée pour :

- expliquer des difficultés économiques nationales ou régionales, dont les causes sont de nature politique ou sociale que le pouvoir en place a du mal à reconnaître ;
- faire passer auprès des populations et/ou des institutions internationales des mesures politiques ou économiques difficiles à justifier autrement ;
- attirer l'attention de la communauté internationale en vue de drainer des fonds.

Que ce soit en tant que "fait institutionnel, souffre-douleur ou tabou commandant les attitudes politiques", l'emploi de ce terme a donc permis de justifier - et financer - une multiplicité d'actions coûteuses, parfois spectaculaires mais souvent inutiles (Warren et Agnew, 1988).

La Convention des Nations Unies

Pourtant, en tant qu'enjeu à la fois environnemental, économique et politique, la désertification demeure une question centrale du développement. Face aux divers échecs rencontrés et à la nécessité d'une approche plus concertée et rationnelle du problème, une convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification² a été adoptée à Paris le 17 juin 1994.

Ratifiée fin 2000 par 109 pays, la Convention met en avant l'ampleur mondiale du problème causé par la désertification, ainsi que la complexité des facteurs mis en jeu (environnementaux et humains). Elle reconnaît les liens qui existent entre le phénomène de désertification et les difficultés économiques et sociales actuellement rencontrées par la majorité des pays touchés (pays en développement), ainsi que la nécessité d'une coopération au niveau international.

Pour ce faire, elle propose la mise en œuvre de programmes d'actions nationaux et sous régionaux, en partenariat avec les pays développés. L'accent est mis sur l'Afrique (considérée comme la zone la plus vulnérable) et sur la sensibilisation et la participation des populations locales. L'importance d'une coordination et d'une coopération entre les différentes institutions de recherche scientifique et technique travaillant sur le sujet est aussi soulignée.

Pour organiser la lutte contre la désertification, la Convention s'est dotée d'un certain nombre d'institutions :

- Conférence des Parties : organe suprême de la Convention. Elle se réunit régulièrement (tous les ans durant les 5 premières années puis tous les 2 ans) pour traiter de l'ensemble des aspects de la Convention.
- Secrétariat Permanent qui est au service de la Conférence des parties et des organes subsidiaires.
- Comité de la Science et de la Technologie : organe subsidiaire de la Conférence des Parties, lui fournissant des informations et des avis sur des questions technologiques relatives à la lutte contre la désertification et à l'atténuation des effets de la sécheresse.
- Réseaux d'institutions, d'organismes et d'organes existants : il doit concourir à la mise en œuvre de la Convention.
- Mécanisme mondial qui devrait permettre d'organiser les financements à l'échelle internationale.

Cependant, la Convention présente des limites, du fait notamment de l'absence d'un guichet propre pour le financement des actions de lutte (elles peuvent être financées au travers du

FEM1 ou du FFEM2, mais en relation avec des actions relevant d'autres Conventions) et pour le fonctionnement des institutions. Elle se heurte aussi à certaines difficultés pour impliquer les pays du Nord par rapport à un problème qui ne les touche pas directement (Cornet, 1996).

Mise en œuvre de la lutte contre la désertification

Les formes et mécanismes de dégradation du milieu qui caractérisent la désertification, ainsi que les techniques de lutte contre ces dégradations, ont fait l'objet de nombreuses recherches qui ont donné lieu à une abondante littérature scientifique. Compte tenu de la demande formulée par l'AFD au CSFD, qui portait essentiellement sur la prise en compte de la lutte contre la désertification dans les projets, le parti a été pris de mettre l'accent sur la mise en œuvre de ces techniques de lutte plutôt que sur leur description.

Cependant, pour permettre aux opérateurs de terrain d'accéder à l'information nécessaire à la connaissance des formes de dégradation générées par la désertification dans leur zone d'intervention et aux techniques de lutte proposées par la recherche, une base de données informatique a été élaborée, qui leur permet d'accéder à cette information préalable à l'action.

La réflexion a donc porté plus particulièrement sur la mise en œuvre des techniques et méthodes de lutte contre la désertification dans le cadre d'opérations de terrain. C'est un domaine d'étude nettement moins documenté par les publications scientifiques, au point d'apparaître comme le chaînon manquant des recherches relatives à ce sujet. C'est aussi une des raisons pour laquelle le groupe de travail du CSFD a fait porter sa réflexion sur les problèmes posés par la mise en œuvre des méthodes de lutte. L'analyse de ces problèmes à travers l'étude comparée de différents projets a conduit à s'intéresser à trois grandes thématiques :

- La contextualisation des techniques et méthodes : c'est à dire la prise en compte des conditions dans lesquelles les techniques et méthodes de lutte contre la désertification vont être mises en œuvre, afin de les adapter à ces conditions et de choisir les plus pertinentes. Cette contextualisation a plusieurs dimensions : agroécologique, socio-économique, institutionnelle et politique. Par ailleurs, les actions à entreprendre doivent être cohérentes avec le stade d'évolution des systèmes agraires concernés.
- Les modes d'organisation et d'intervention des différents acteurs dans la mise en œuvre des actions de lutte contre la désertification dans les projets, de l'Etat aux agriculteurs en passant par les organisations paysannes et les opérateurs de développement.
- L'évaluation de la durabilité des actions de lutte, en mettant l'accent sur les impacts environnementaux, sociaux et économiques de ces actions.

Chapitre 4 :
Dégradation de la biodiversité

Chapitre 4. Dégradation de la biodiversité

Le terme biodiversité désigne toutes les formes de la vie sur Terre et les caractéristiques naturelles qu'elle présente. La biodiversité est à proprement parler, la diversité biologique et concerne la diversité génétique, la diversité des espèces et la diversité des écosystèmes. Les scientifiques évaluent le nombre d'espèces existant actuellement à environ 13 millions (animales et végétales confondues).

Le terme « agro biodiversité » ou diversité biologique agricole est la « variété et la variabilité des animaux, des plantes et des micro-organismes nécessaires pour maintenir les fonctions essentielles de l'écosystème agricole, sa structure et les processus assurant la production de nourriture et la sécurité alimentaire » (FAO-CDB, 1998).

Agro biodiversité est particulièrement importante pour maintenir la productivité et la résistance des systèmes de culture et d'élevage dans des environnements précaires, divers et vulnérables tels que les zones arides. Beaucoup d'agriculteurs dans ces régions se préoccupent beaucoup de la diversité génétique et cherchent à conserver un grand nombre de variétés de culture, adaptées à des types de sol et de niveaux de précipitations particuliers, ainsi qu'aux préférences culinaires (Mortimore, 1998).

L'agro biodiversité assure aussi d'autres fonctions pour l'agriculture, telles que la pollinisation et la lutte contre les insectes, et contribue au développement rural (Pimbert, 1999). La biodiversité possède aussi également une dimension culturelle et cultuelle (forêts sacrées, animaux totems...) et sa conservation peut contribuer à créer des sources de revenus supplémentaires pour les populations.

L'abondance et la diversité des espèces trouvées dans le système naturel sont souvent essentielles à la survie des populations les plus pauvres et les plus marginales de l'Afrique rurale.

La diversité biologique permet à l'humanité de bénéficier des services particulièrement importants sur les plans nutritionnel, économique, sanitaire, environnemental, éducatif, esthétique, récréatif, social et culturel (CBD, 1992). La préservation de la biodiversité est donc une impérieuse nécessité pour le bien-être humain. Les services que fournissent des écosystèmes sains et assortis d'une diversité biologique sont le socle du bien-être de l'humanité.

Malheureusement des 24 services récemment examinés par l'Evaluation des écosystèmes en début de millénaire, quinze (15) accusent un déclin. Ce sont entre autres l'appauvrissement en eau douce, la production halieutique marine, le nombre et la qualité des sites dotés d'une valeur spirituelle et religieuse, la capacité de l'atmosphère de se libérer des polluants, la réglementation des dangers naturels, la pollinisation et la capacité des écosystèmes agricole de lutter contre les parasites (PNUE, 2002).

4.1. La diversité biologique régresse à un rythme sans précédent

On constate une réduction importante des stocks et une disparition des espèces qui risquent à terme d'hypothéquer les conditions de vie, d'alimentation, de soins sanitaires, d'habitats etc... La dégradation et la disparition des habitats sont considérées comme étant les principales causes menaçant la survie de 83% de mammifères et de 85% des oiseaux menacés (PNUE, 2002). Cette dégradation des habitats est induite par de nombreuses activités humaines telles que l'extension des zones d'agriculture, l'abattage des forêts, la construction de barrages ou d'infrastructures routières, l'extraction de minéraux, l'extension urbaine, la pollution, la chasse, les guerres, les dépôts azotés, les marées noires etc. On estime que le total des espèces ayant existé sur terre est 10 fois supérieur à celui des espèces actuelles. L'extinction est donc un phénomène normal dans la nature, seulement le rythme de disparition est devenu très rapide à cause des effets des activités humaines sur la biosphère. Depuis plus d'un siècle, on a la preuve que l'homme est la cause de la disparition de nombreux organismes vivants. Selon une estimation modérée, l'humanité perd 4 espèces par an. Si les tendances actuelles se maintiennent les pertes seront d'environ 50 000 espèces vivantes perdues par an au cours des prochaines décennies. A ce rythme les deux tiers de toutes espèces vivantes seront perdus.

Concernant le milieu marin, selon l'ONG Greenpeace, 75% des stocks planétaires de poissons sont surpêchés ou déjà détruits. Chaque année, environ 27 millions d'animaux marins sont rejetés par-dessus bord car ne correspondant pas aux prises souhaitées. A ces mauvaises pratiques de pêches, s'ajoutent d'autres atteintes au milieu marin menaçant sa biodiversité. Il s'agit de la pollution marine, due au déversement de pétrole provenant des plateformes de forage et des marées noires. Les polluants organiques persistants et les substances radioactives déversées dans les océans constituent également de graves menaces pour la biodiversité marine. Les conflits armés ont également causé des dommages écologiques importants et des pertes de biodiversité ainsi que la pollution de l'environnement qui constitue une menace de plus en plus grande pour la biodiversité dans beaucoup de pays africains. Les résidus de pesticides ont réduit les populations de plusieurs espèces d'oiseaux et d'autres organismes.

4.2. Menaces sur les forêts

Les forêts constituent des écosystèmes particulièrement précieux pour l'humanité. En effet la forêt est un réservoir de biodiversité végétale et animale dont les populations profitent pour leur alimentation, leur habitat et leur santé. Aussi, la forêt est au cœur d'intenses activités économiques à forte valeur ajoutée. Sur le plan environnemental, il convient de noter que la forêt est non seulement pourvoyeuse d'esthétique naturelle et d'aménités, mais elle offre également et surtout des services précieux dans la séquestration du carbone, la régénération des sols, le recyclage des nutriments et la conservation de l'eau. Mais les forêts connaissent un recul inquiétant, notamment dans les pays en développement. Les facteurs explicatifs sont entre autres l'exploitation du bois de chauffe et d'autres produits forestiers, les incendies, la sécheresse, le surpâturage, le développement d'infrastructure, l'expansion des terres agricoles, les conflits armés etc. Au niveau mondial on estime que la perte nette de superficie forestière durant les années 90 a atteint 94 millions d'hectares (PNUE-CMAE, 2002). Le monde a perdu près de la moitié de sa couverture forestière originelle et, chaque année, 16 millions d'hectares de plus sont déboisés, nivelés ou brûlés. Les forêts fournissent chaque année plus de 400 milliards de dollars à l'économie mondiale et jouent un rôle indispensable pour assurer la santé des écosystèmes. Or, il se peut que la demande courante de produits forestiers dépasse de 25 % le niveau de consommation durable.(BENCHERIF)

4.3. Menaces sur les eaux douces

L'eau est indispensable à la vie animale, végétale ou humaine. Les Nations Unies ont proclamé la « décennie d'eau douce » la période 2005-2015. En effet l'eau représente un enjeu essentiel pour l'humanité, en termes d'accès, de qualité et de gestion. Selon l'ONG Wetlands International, la consommation mondiale d'eau double tous les vingt ans, soit deux fois plus vite que le taux d'accroissement démographique. Outre le problème d'accès à l'eau, une ressource de plus en plus sollicitée, la qualité de l'eau représente une préoccupation majeure. Pour une grande partie des populations pauvres du monde, notamment dans les pays en développement, l'une des menaces environnementales les plus graves pesant sur la santé, demeure l'absorption prolongée d'eau non traitée. L'accès à l'eau potable constitue alors un enjeu de taille pour la communauté internationale. Aussi, la gestion transfrontalière des ressources d'eau douce constitue une préoccupation majeure car beaucoup de cours d'eau dans le monde sont partagés entre deux ou plusieurs pays. Ce partage de l'eau peut-être au mieux une source de coopération (construction d'un barrage par exemple) et au pire une source de conflit. Selon le document cadre de l'initiative environnementale du NEPAD, plus de

300 millions de personnes restent sans accès adéquat à une eau saine dans le continent. En plus le taux d'exploitation entraîne des menaces croissantes.

Actuellement 14 pays africains souffrent de tension hydrique ou d'une pénurie d'eau. On estime que d'ici 2025 plus de 230 millions de personnes (16% de la population africaine) vivront dans des pays exposés à des pénuries d'eau. Les questions de quantité et de qualité d'eau sont bien des questions environnementales pressantes en Afrique.

4.4. Menaces sur les zones humides

Les zones humides constituent des espaces où se développent une biodiversité animale et végétale. Elles constituent par conséquent un grand espoir pour l'alimentation des populations et une multitude d'activités socio-économiques et culturelles. Elles font partie des plus importants biens environnementaux du monde. Cependant, la plupart des zones humides sont vulnérables, avec de nombreuses espèces de poissons, d'oiseaux, de reptiles, d'amphibiens et d'invertébrés qui sont menacés. La perte de fonction et de processus écologiques a provoqué la dégradation continue des zones humides, notamment la pollution, l'extraction excessive des ressources de la faune et de la flore. En outre, les aménagements et le drainage ont été des facteurs contributifs majeurs au déclin des ressources mondiales en eau et à l'accroissement de la pauvreté humaine.

La gestion des zones humides et leur restauration sont encore mal reconnues comme outils d'atténuation des impacts des changements climatiques, de gestion efficace des inondations et des sécheresses, de protection côtière accrue ou l'augmentation des disponibilités en eau et en nourriture et de rétablissement du potentiel des individus à développer des moyens de subsistance durables (Wetlands International, 2005). Selon le document cadre de l'initiative environnementale du Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique (NEPAD), les zones humides du continent se dégradent à un rythme alarmant, malgré leur importance économique, sociale et écologique. Cette dégradation est provoquée par divers facteurs notamment l'amendement des terres, la pollution, l'introduction d'espèces allogènes envahissantes et la surexploitation de la flore et de la faune.

C'est pourquoi la conservation des zones humides en Afrique est une des grandes priorités du plan d'action de l'initiative environnementale du NEPAD, pour une mise en œuvre de la convention de Ramsar, instrument juridique international de protection des zones humides.

4.5. Menaces sur les mers et les côtes

Les mers constituent une richesse naturelle dont les rôles sont multiples. Elles sont pourvoyeuse d'une biodiversité immense, source alimentaire et base d'activités économiques essentielles pour le développement des pays côtiers, notamment liés à la pêche. Les côtes abritent également des écosystèmes divers et précieux comme les mangroves, les dunes, les lagunes, les récifs coralliens, les dépressions inter dunaires etc. qui constituent des lieux de reproduction pour certaines espèces de poissons, de tortues marines et de crustacés. Certains de ces écosystèmes sont des abris des oiseaux migrateurs. Aussi les cotes représentent des sites naturels esthétiques qui en font un cadre touristique particulièrement important où sont aménagées des infrastructures hôtelières et des stations balnéaires.

Le tourisme côtier occupe une place de choix dans l'économie de plusieurs pays. Ce potentiel économique dont regorgent les côtes explique leur attraction comme lieu privilégié d'habitat des populations. Cependant ces richesses socio-économiques et naturelles des mers et côtes sont particulièrement menacées par une multitude de facteurs tels que la pollution de la mer, la dégradation des habitats, les pratiques de pêche non durables, les changements climatiques, l'introduction d'espèces exotiques etc. La pollution des mers et côtes est essentiellement due aux déversements d'hydrocarbures par les pétroliers et les industries lourdes de raffinerie, mais également aux rejets d'eaux usées (industrielles ou urbaines) qui restent la principale source de pollution en volume, de l'environnement marin et côtier, selon le PNUE, en utilisant la mer comme dépotoir. En somme la moitié de tous les écosystèmes côtiers sont l'objet de pressions imputables à de fortes densités de population et au développement urbain. Les pêcheries océaniques sont surexploitées, et les prises de poissons diminuent.

4.6. Aperçu des préoccupations environnementales de l'Afrique.

L'Afrique est un continent marqué par une situation environnementale préoccupante dont la prise en charge constitue un enjeu vital. La dégradation des sols, la sécheresse et la désertification constituent la première préoccupation environnementale de l'Afrique. Les principaux phénomènes associés à cette dégradation des terres sont entre autres, la salinisation des sols, l'érosion, la pollution par les produits agrochimiques. Subséquemment le continent est victime d'une pauvreté grandissante et d'une insécurité alimentaire marquée aujourd'hui par une dépendance vis-à-vis des importations et de l'aide alimentaire. La désertification touche 46 % de l'Afrique et affecte quelque 485 millions d'Africains. Une bonne partie du continent est particulièrement vulnérable. L'érosion des sols et la désertification sont en augmentation et le problème est susceptible de s'intensifier dans les trente ans à venir, puisque la démographie

continue à progresser et le climat est de plus en plus variable. La dégradation des zones humides et des écosystèmes côtiers et marins constitue également un problème environnemental majeur en Afrique. Elle est essentiellement liée à l'étalement urbain, à l'extension des surfaces agricoles, à l'introduction d'espèces allogènes envahissantes, à la surexploitation de la flore et de la faune etc.

La perte de la biodiversité est particulièrement inquiétante. Les populations dépendent dans une large mesure de la biodiversité pour leur alimentation et leurs activités génératrices de revenus.

Toutefois ce patrimoine naturel est aujourd'hui gravement menacé et beaucoup d'espèces sont déjà signalées comme disparues. L'exploitation non durable de la biodiversité, exacerbée par la pauvreté qui favorise la pression sur les ressources, met en danger cette richesse du continent.

D'autres facteurs comme les conflits armés, l'introduction d'espèces exotiques, la pollution et les changements climatiques viennent aggraver une régression des ressources et enfoncer les populations africaines dans la pauvreté. Les forêts couvrent environ 22 % de l'Afrique mais elles sont en train de disparaître plus rapidement que partout ailleurs dans le monde en développement.

Au cours des années 1980, l'Afrique a perdu 10,5 % de ses forêts. Ce sont elles qui protègent et stabilisent les sols, recyclent les nutriments et régulent la qualité et l'écoulement des eaux. Elles rendent également service au monde entier en absorbant le dioxyde de carbone qui contribuerait autrement à accélérer le réchauffement mondial : elles couvrent 45 % de l'Afrique centrale, le bassin du Congo abritant la deuxième forêt du monde de par sa superficie. Des réserves ont été créées, mais la pression sur la forêt reste importante. La pénurie d'eau constitue un des paradoxes environnementaux du continent. En effet l'accès à l'eau en Afrique est devenu une préoccupation de taille, alors que le continent dispose d'un potentiel hydrique impressionnant avec 83 bassins fluviaux et lacustres. Plus de 300 millions d'africains n'ont pas accès à une eau saine (PNUE, 2002).

En plus la qualité de l'eau se détériore de plus en plus du fait de la pollution ; sans que les moyens de potabilisation ne soient accessibles ce qui expose les populations aux multiples maladies hydriques dont la prise en charge sanitaire fait défaut. La pénurie d'eau douce et sa qualité médiocre sont les deux plus grands freins du développement africain. Ils limitent

l'agriculture et provoquent des maladies d'origine hydrique, fardeau très lourd pour l'Afrique. Il est probable que la situation s'aggravera encore avec le changement climatique.

Les études effectuées par le Groupe intergouvernemental d'experts pour l'étude du changement climatique affirment que la pluviométrie baissera encore dans les zones déjà arides d'Afrique de l'Est et du Sud, et dans le nord de l'Afrique centrale, aggravant ainsi la sécheresse et la désertification. En Afrique de l'Ouest, la pénurie d'eau devrait frapper le Bénin, le Burkina Faso, le Ghana, la Mauritanie, le Niger et le Nigeria d'ici à 2025. (Tchatchou et al., 2015)

Chapitre 5 :
Dégradation de
L'écosystème aquatique

Chapitre 5. Dégradation de l'écosystème aquatique

Ces systèmes sont divisés en deux sous-groupes, les milieux aquatiques marins comme les océans et les récifs coralliens. Les milieux aquatiques continentaux comme les milieux lotiques (comme les rivières, fleuves et ruisseaux) et les milieux lentiques (comme les lacs, les étangs, les mares temporaires).

➤ **Remarque :**

En Algérie, nous avons une typologie particulière en fonction de la région : comme les Garaets, les dayats, les Chotts, les Sabkhats, les Fougarrats et les Oueds (Lambert, 1996).

5.1. Pollution des milieux aquatiques

5.1.1. Définition

C'est une modification défavorable d'un milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit d'une activité humaine. Une pollution résulte de l'introduction dans un milieu d'éléments plus ou moins nuisibles. Cette pollution se caractérise par un déséquilibre à plus ou moins long terme du milieu. Il existe différentes formes de pollutions :

Chimiques (produits toxiques, pesticides), organiques (déjections, micro-organismes), thermiques (eau chaude) ; radioactives.... Au-delà d'un certain seuil, la pollution devient nocive pour l'homme (Vasselon et al., 2019).

5.1.2. Pollution de l'eau

La pollution de l'eau est décrite généralement par l'introduction ou la présence des substances nocives ou inacceptables dans l'ampleur suffisante pour modifier les indices de qualité de l'eau naturelle. La pollution de l'eau douce (par exemple par le biais de l'eutrophisation, l'acidification, et la pollution des eaux souterraines) est celle qui diminue sa pureté (Couraud, 2019).

En revanche, la pollution des eaux est l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du patrimoine naturel. Des dommages causés à ce milieu récepteur pourraient à long terme constituer un réel danger à l'humanité et mettre en péril la vie de la flore et de la faune aquatique. Selon la définition donnée par GESAMP (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution) dans le cas particulier de l'environnement marin, le terme de

pollution désigne l'introduction direct ou indirect par l'homme de substance ou d'énergie dans le milieu marin lorsqu'elle a, ou a eu, des effets nuisibles (Leborne, 2019).

Le terme de pollution désigne donc l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physico-chimiques et/ou biologique et bactériologique de l'eau et de créer des risques pour la santé de l'homme, de nuire à la faune et à la flore terrestres et aquatiques de porter atteinte à l'agrément des sites ou de gêner toute autre utilisation normale des eaux.

5.1.3. Source de pollution de l'eau

➤ **Pollution d'origine domestique**

Elle provient des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement Jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par :

- Des germes fécaux,
- De fortes teneurs en matières organiques,
- Des sels minéraux (azote, phosphore),
- Des détergents

En sortie de station d'épuration, on retrouve les mêmes éléments en quantités moindres (50 à 90% extraits) mais concentrés en un point de rejets (Gaujous, 1995).

➤ **Pollution d'origine atmosphérique**

D'origine rejets naturelle ou anthropique, les substances émises peuvent être de nature physique (radioactivité, énergie. . .), chimiques (gaz, particules, aérosols. . .) ou biologiques (pollens, acariens, moisissures. . .). Cette première partie présente succinctement les sources de la pollution atmosphérique ayant directement ou indirectement un impact sur la santé et en se limitant aux chimiques d'origine anthropique (hors gaz à effet de serre et hors semi-volatils comme les pesticides). Ces pollutions sont dites primaires lorsqu'elles s'échappent directement des pots d'échappements, des cheminées ou des surfaces agricoles, etc. Elles vont ensuite se disperser, se diluer, se transporter voire se transformer en d'autres composés dits « secondaires » comme l'ozone ou le nitrate d'ammonium

➤ **Pollution d'origine industrielle**

Les industries, en particulier chimiques, métallurgiques et même électroniques, constituent une cause essentielle de la pollution des eaux. Celle-ci prend place non seulement au niveau des usines mais aussi au niveau de l'utilisation des substances produites et au niveau des objets manufacturés, en fin de cycle du produit, avec les déchets (Caquet & Ramade, 2022).

5.2. Généralités sur l'eau et les sources de pollution

Elle est caractérisée par une très grande diversité, selon l'utilisation de l'eau dans les processus (refroidissement, lavage, extraction, mise en solution...etc.). Nous pouvons donc retrouver dans l'eau, qui est un bon solvant, tous les sous-produits possibles de l'activité humaine : Des matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, abattoirs et équarrissage), Hydrocarbures (raffineries), acides, bases et produits chimiques divers (industries chimiques et pharmaceutiques) (Bidi & Djidja, 2020).

➤ **Exemple de pollution par les métaux lourds**

La pollution par les métaux lourds est en grande partie causée par les rejets industriels et domestiques, l'activité minière et les eaux de ruissellement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture. (Choumane & Peulon, 2022). Les métaux lourds présents dans l'eau et dans les sédiments sont absorbés par les plantes et les animaux marins, le dépassement d'une quantité donnée dans ces espèces provoque leur accumulation dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire.

Ils peuvent atteindre des concentrations menaçant la survie de certaines populations naturelles et présentent des dangers pour le consommateur de produits marins du fait de leur possibilité de concentration dans les espaces aquatiques, de leur élimination difficile et de leur large répartition dans le milieu aquatique (MEDDAH Wissam, 2021).

La bioaccumulation des métaux traces dans les organismes aquatiques désigne la capacité des organismes aquatiques à concentrer et à accumuler les substances chimiques à partir du milieu (bioconcentration) et de la nourriture (biomagnification), à des concentrations bien supérieures à celles où elles sont présentes dans le milieu (Caquet & Ramade, 2022).

➤ **Toxicité des métaux lourds**

Les métaux lourds sont des éléments chimiques qui ont un poids spécifique (une mesure de la densité) au moins cinq fois celle de l'eau. Les métaux lourds les plus souvent impliqués dans l'empoisonnement de l'homme sont : le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium.

Certains métaux lourds, tels que le zinc, le cuivre, le chrome, le fer et le manganèse, sont requis par le corps en petites quantités, mais ces mêmes éléments peuvent être toxiques en grande quantité (HAFDALLAH et al., 2022).

L'exposition aux métaux lourds est potentiellement dangereuse, en particulier les composés métalliques qui n'ont aucun rôle physiologique dans le métabolisme cellulaire.(Blin et al., 2019).

Références bibliographiques

- AOUADJ, S. A. (2021). *Impact des techniques de restauration écologique sur la dynamique des écosystèmes dégradés des monts de Saïda: Cas des forêts de Doui Thabet–(Ouest Algérie)*
- Bayoi, A. E., Moumbock, E. M. A., & Ngaba, M. J. Y. (2021). Impact des paramètres de sondage sur la gestion durable des forêts: cas des Forêts communales de l'Est-Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(1), 169-184.
- BENCHERIF, S. La gestion et la gouvernance des terres pastorales collectives dans la région d'El Bayadh (Algérie).
- Biaye, J., Sane, Y., Aidara, C., & Fall, L. (2021). Salinisation-acidification des sols et riziculture dans la commune de mlomp, Oussouye (Bassecasamance, Senegal). *Agronomie Africaine*, 33(1), 1-12.
- Bidi, Z., & Djidja, C. (2020). *Analyse de quelques paramètres physico-chimiques d'une source d'eau au niveau de la commune de Mizrana (Tizi-Ouzou)* Université Mouloud Mammeri].
- Blin, T., De Muret, A., & Marchand-Adam, S. (2019). À propos d'un cas de pneumopathie interstitielle desquamative liée à l'exposition à des métaux lourds. *Revue des Maladies Respiratoires*, 36(5), 646-647.
- Caquet, T., & Ramade, F. (2022). 1 The ecological dimensions of ecotoxicological research. In *Radioactive pollutants* (pp. 1-24). EDP Sciences.
- Choumane, R., & Peulon, S. (2022). Développement d'un procédé électrochimique innovant pour la dépollution d'eaux chargées en métaux lourds. 25^{eme} édition des Journées Information Eau JIE 2022,
- Cortez, R., & Stephen, P. (2009). Cours d'introduction sur le dispositif de Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD) Manuel de référence des participants. *World Wildlife Fund*.
- Couraud, G. (2019). SYNTHÈSE THÉMATIQUE-Lutter contre les pollutions azotées et préserver les milieux aquatiques.
- Dao, Q.-H. (2004). Les formes de la déforestation en Côte d'Ivoire. *GEOPOINT 2004: La forme en géographie*, 69-73.
- DeFries, R. S., Foley, J. A., & Asner, G. P. (2004). Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(5), 249-257.
- Desclée, B., Mayaux, P., Hansen, M., Lola Amani, P., Sannier, C., Mertens, B., Hausler, T., Ngamabou Siwe, R., Poilvé, H., & Gond, V. (2013). Evolution du couvert forestier du niveau national au régional et moteurs de changement. *de Wasseige C. et al., eds. Les forêts du Bassin du Congo: état des forêts*, 21-46.
- Djohy, G. L., Boukou, B. S., Dossou, P. J., & Yabi, J. A. (2021). Perception des changements climatiques par les éleveurs de bovins et observations météorologiques dans le bassin de l'Ouémé supérieur au Bénin. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 74(3), 145-152.
- Dregne, H. (2020). Desertification assessment. In *Methods for assessment of soil degradation* (pp. 441-458). CRC Press.
- El Mazi, M., Hmamouchi, M., & Houari, A. (2021). Impact de l'évolution de l'utilisation des terres sur la dégradation des ressources en sols dans le Rif Central méridional, Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9(4), 567-572.
- Fleury, M.-F. (2000). L'exploitation du bois et la déforestation: exemple du Brésil. *L'information géographique*, 64(1), 58-70.
- Gillet, P., Vermeulen, C., Feintrenie, L., Dessard, H., & Garcia, C. (2016). Quelles sont les causes de la déforestation dans le bassin du Congo? Synthèse bibliographique et études de cas. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20(2).
- Grandjean, S. (2020). La forêt et le droit: la définition de la forêt en droit français. *La forêt et le droit*, 1-118.

- HAFDALLAH, B., NECIB, A., & ABAIDIA, K. (2022). *Etude de la toxicité des métaux lourds sur les êtres vivants* Université Larbi Tébessi-Tébessa].
- Helldén, U. (1991). Desertification: time for an assessment? *Ambio*, 372-383.
- Karsenty, A. (2022). Le projet européen de lutte contre la déforestation importée: les limites d'une approche indifférenciée.
- Karsenty*, A., Sembres**, T., & Randrianarison***, M. (2010). Paiements pour services environnementaux et biodiversité dans les pays du Sud: le salut par la «déforestation évitée». *Revue Tiers Monde*(2), 57-74.
- Lambert, R. (1996). *Géographie du cycle de l'eau*. Presses univ. du Mirail.
- Leborne, J. (2019). Pollution des cours d'eaux: il faut distinguer les dommages causés au poisson et ceux causés au milieu naturel du poisson.
- Mariem, B.-S., GHALLAB, A., BERRAD, F., AOUADI, A., ASRAOUI, F., & EL MOUTAOUAKIL, M. E. A. (2022). Caractérisation d'un périmètre de reboisement de pinède en vue de proposition des essences les plus appropriées, cas du Jbel Zemzem (Nord-ouest, Maroc): Characterizing a pine forest reforestation area to propose the most appropriate species, case of Jbel Zemzem (Northern west, Morocco). *Revue Nature et Technologie*, 14(02), 33-41.
- Martin, R. (2008). Déforestation, changement d'affectation des terres et REDD. *Unasyva*, 59(230), 3-11.
- MEDDAH Wissam, S. D. (2021). Etude et analyses des métaux lourds dans les poissons et l'eau du barrage d'Ain Zada.
- [Record #34 is using a reference type undefined in this output style.]
- Pomel, S., & Salomon, J.-N. (1998). *La déforestation dans le monde tropical*. Presses Univ de Bordeaux.
- Reynolds, J. F. (2021). Desertification is a prisoner of history: An essay on why young scientists should care. *Ecosistemas*, 30(3), 2302-2302.
- Roselyne, A. (2022). *La Protection de l'environnement à l'épreuve des enjeux de développement économique dans le bassin forestier du Congo* Reims].
- Salomon, J. (1982). Réalités et conséquences de la déforestation dans l'Ouest malgache. *Madagascar: revue de géographie*(40), 7-13.
- Scouvar, M., & Lambin, É. F. (2006). Approche systémique des causes de la déforestation en Amazonie brésilienne: syndromes, synergies et rétroactions. *Espace géographique*, 353(3), 241-254.
- Steiner, K. G., & Williams, R. (1996). *Causes of soil degradation and development approaches to sustainable soil management*. Margraf Verlag Weikersheim, Germany.
- Tchatchou, B., Sonwa, D. J., Ifo, S., & Tiani, A. M. (2015). *Déforestation et dégradation des forêts dans le Bassin du Congo: État des lieux, causes actuelles et perspectives* (Vol. 120). CIFOR.
- Tsewoue, M. R., Tchamba, M., Avana, M. L., & Tanougong, A. D. (2020). Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le Mounjo, Région du Littoral, Cameroun: influence sur l'expansion des systèmes agroforestiers à base de bananiers. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(2), 486-500.
- Vasselon, V., Rimet, F., Domaizon, I., Monnier, O., Reyjol, Y., & Bouchez, A. (2019). Évaluer la pollution des milieux aquatiques avec l'ADN des diatomées: où en sommes-nous? *Techniques Sciences Méthodes*, 5, 53-70.
- White, F. (1986). *La végétation de l'Afrique: mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique* Unesco/AETFAT/UNSO (Vol. 20). IRD Editions.