



**LA WALLONIE RESILIENTE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE :
MESURES D'ADAPTATION DES SOLS**

Rapport de stage

Photo 1. : Les plus beaux villages de Wallonie. <https://beauxvillages.be/>

Institution d'accueil : **Institut d'Études et de Conseil en Développement Durable (ICEDD)**

Maître de Stage : **HARCHIES** Manu

Répondant académique : **Pr. AGNAN** Yannick

Lecteur : **Pr. VANCLOOSTER** Marnik

Rapport de stage présenté par **KALIMUNDA** Cédric

En vue de l'obtention du grade académique de

Master de spécialisation en Sciences et Gestion de l'Environnement et du développement durable

Diplôme antérieur : **Integrated Master of Science in Geology**

JUIN 2024

Résumé

Dans le cadre de sa politique visant la résilience au changement climatique, la Région wallonne s'est fixée pour objectif de mettre en place des mesures d'adaptation pour faire face à ce défi. L'objectif étant d'impliquer tous les niveaux de la société dans la construction d'une région résiliente. Le projet de l'Agence wallonne de l'Air et du Climat (AwAC) consiste à développer des outils qui permettront aux citoyens d'accéder à des informations pertinentes pour leur rôle dans cette quête de résilience. Sous la direction de l'Institut de conseil et d'études en développement durable (ICEDD) en collaboration avec l'ULiège (Gembloux, Lema, Lepur, et le laboratoire de climatologie), l'UNamur, l'ISSeP et Jetpac, ce projet évaluera la vulnérabilité de la Wallonie au changement climatique et proposera des stratégies d'adaptation. Douze thématiques seront traitées (biodiversité, eau, sol, agriculture, tourisme, santé, social, économie, villes, infrastructure, énergie).

Le présent rapport présente le stage effectué à l'ICEDD sur une période de trois mois à temps plein et était axé sur la thématique du sol et plus précisément sur trois approches devant être traitées (la sécheresse édaphique, les inondations, et la perte de la valeur agronomique). Ce travail est évolutif et il poursuit des phases initiales déjà entamées du projet se focalisant sur l'identification des vulnérabilités, la réalisation d'un état des lieux, et la présentation d'outils. L'objectif de ce stage était de concevoir des fiches opérationnelles de mesure d'adaptation du sol qui seraient accessibles aux utilisateurs, leur permettant de comprendre les enjeux, les solutions et les étapes nécessaires pour mettre en place des dispositifs d'adaptation conformes à la législation régionale.

La première partie de ce rapport présente l'ICEDD, décrit le projet, et établit des liens avec les cours qui ont permis d'acquérir les connaissances nécessaires à la réalisation de ce travail. Ce suit alors la description de la problématique à résoudre qui est le changement climatique et ses effets sur les sols, notamment en Région wallonne pour permettre aux lecteurs de ce rapport de comprendre les liens et les enjeux.

La deuxième partie expose les méthodes utilisées pour concevoir les fiches d'adaptation qui étaient basées sur l'analyse des initiatives existantes et sur la recherche, tout en tirant profit des documents déjà conçus par l'ICEDD. Le travail implique principalement une étude de l'état actuel du climat de la Région wallonne et des projections climatiques futures, suivi d'une analyse transversale avec les sols wallons et les conséquences possibles du changement climatique. Des chaînes d'impact des approches à traiter ont été établies pour relier les aléas climatiques aux impacts sur les sols, ces impacts sont pris en considération pour proposer des mesures adaptées. Ces mesures furent alors détaillées sur des fiches d'opération. Les entretiens avec des experts ont permis à analyser leur applicabilité.

Enfin, ce rapport se conclut par une troisième partie consistant d'une analyse des acquis de ce stage ainsi que des recommandations adressées à l'ICEDD.

Executive Summary

As part of its policy aimed at resilience to climate change, the Walloon Region has set itself the goal of implementing adaptation measures to address this challenge. The objective is to involve all levels of society in building a resilient region. The project of the Walloon Agency for Air and Climate (AwAC) involves developing tools that will enable citizens to access relevant information for their role in this quest for resilience. Under the direction of the Institute for Sustainable Development Studies and Consulting (ICEDD), in collaboration with ULiège (Gembloux, Lema, Lepur, and the Climatology Laboratory), UNamur, ISSeP, and Jetpac, this project will evaluate Wallonia's vulnerability to climate change and propose adaptation strategies. Twelve themes will be addressed (biodiversity, water, soil, agriculture, tourism, health, social, economy, cities, infrastructure, energy).

This report presents the internship carried out at ICEDD over a three-month full-time period, focusing on the theme of soil and more specifically on three approaches to be addressed (edaphic drought, flooding, and the loss of agronomic value). This work is evolutionary and follows initial phases already begun in the project, focusing on identifying vulnerabilities, conducting an inventory, and presenting tools. The objective of this internship was to design operational adaptation measure sheets for soil that would be accessible to users, enabling them to understand the issues, solutions, and necessary steps to implement adaptation tools compliant with regional legislation.

The first part of this report presents ICEDD, describes the project, and establishes links with the courses that provided the necessary knowledge for the completion of this work. This is followed by the description of the problem to be solved, which is climate change, and its effects on soils, particularly in the Walloon Region, to enable readers of this report to the connections and stakes involved.

The second part outlines the methods used to design the adaptation operational document, which were based on the analysis of existing initiatives and research, while leveraging documents already developed by ICEDD. The work mainly involves a study of the current climate in the Walloon Region and future climate projections, followed by a cross-analysis with Walloon soils and the potential consequences of climate change. Impact chains of the approaches to be addressed were established to link climate hazards to impacts on soils, and these impacts were considered in proposing suitable measures. These measures were then detailed on operational documents. Interviews with experts allowed for an analysis of their applicability.

Finally, in the third part, this report concludes with an analysis of the outcomes of this internship as well as recommendations addressed to the Institute.

Glossaire

AwAC : Agence wallonne de l'Air et du Climat

ICCED : Institut d'Études et de Conseil en Développement Durable

CC : Changement climatique

ECORES : bureau d'accompagnement et de conseil en développement durable

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

IRM : Institut Royal Météorologique

PAC : Politique agricole commune

PACE : Plan Air-Climat-Energie

PwG : Plateforme Wallonne pour le GIEC

SPW : Service public de Wallonie

SPW ARNE : SPW Agriculture, Ressources naturelles et Environnement

SPW MI : SPW Mobilité et Infrastructure

SPW SDS : SPW Département du Sol et des Déchets

CCUNCC : Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques

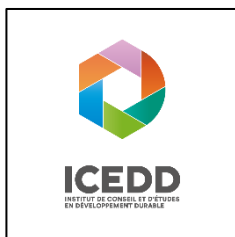
Table des matières

Résumé	1
Executive Summary	2
Glossaire	3
1. Introduction	5
1.1. Présentation de l'institution d'accueil	5
1.2. Description de la problématique environnementale étudiée	7
1.2.1. Le changement climatique.....	7
1.2.2. Effets du changement climatique sur les sols	8
1.2.3. Défis pour les sols de la Wallonie.....	11
1.3. Objectif du stage	12
1.4. Liens avec les principales références théoriques des cours du Master	12
2. Contenu du stage	14
2.1. Méthodologie adoptée	14
2.1.1. Collecte de données	14
2.1.2. Analyses des effets du changement climatique sur les sols.....	14
2.1.3. Élaboration des fiches d'adaptation	15
2.1.4. Entretien avec expert	15
2.2. Présentation de l'étude et des résultats	15
2.2.1. Tendances climatiques en Wallonie	15
2.2.2. Vulnérabilité des sols wallons	20
2.2.3. Chaines d'impacts	27
2.2.4. Élaboration des fiches opérationnelles.....	31
2.3. Analyse critique de leur applicabilité	38
3. Analyse des acquis du stage	39
4. Suggestions à l'institut d'accueil	40
5. Liste des références bibliographiques	43
6. Annexes	48

1. Introduction

Le changement climatique est une problématique préoccupante qui affecte l'ensemble de notre planète, dépassant de plus en plus les capacités humaines à mesure que les compartiments environnementaux se détériorent. Le sol, essentiel aux services écosystémiques, est également touché par le changement climatique et nécessite une attention particulière, raison pour laquelle le Gouvernement wallon, en collaboration avec le bureau d'études ICEDD, vise à mettre en place des outils d'adaptation qui seront bénéfiques pour la région.

1.1. Présentation de l'institution d'accueil



Logo de l'ICEDD.
<https://www.icedd.be/> 1

L'Institut en Conseil et Études en Développement Durable (ICEDD) est une organisation indépendante qui propose des services de consultation et d'études pour accompagner les entreprises et les autorités publiques dans leur transition vers un modèle plus durable. Fondée en 1961, cette asbl basée à Namur bénéficie de plus de 50 ans d'expérience et est certifiée ISO 9001:2015.

○ L'EXPERTISE

L'ICEDD est composé d'une équipe d'une trentaine d'experts ingénieurs et scientifiques couvrant un vaste champ multidisciplinaire pour répondre à de diverses problématiques à traiter. L'ICEDD propose une gamme de services incluant le diagnostic et l'analyse de données dans plusieurs domaines, l'accompagnement des gestionnaires dans la mise en œuvre de leurs stratégies, l'expertise dans les études prospectives pour traiter les enjeux divers, ainsi que des formations visant à partager les connaissances et à favoriser la participation dans le partage d'expertise.

○ LES SERVICES

Les services de l'ICEDD couvrent diverses thématiques visant à évaluer et recommander des stratégies pour des modes de production et de consommation durables, en s'appuyant sur les travaux de la communauté scientifique nationale, européenne et internationale, ainsi que sur des missions d'expertise dans différents domaines. Ces services incluent :

Ressources naturelles et déchets : se focalisant sur l'économie circulaire pour la reconstruction et la rénovation, la gestion de la chaîne des déchets, les défis écologiques, les risques environnementaux et les sources renouvelables. Ainsi que la protection et la gestion des ressources naturelles, avec un accompagnement et des conseils conformes à la norme ISO 50001.

Climat et transition énergétique : en prenant en compte l'objectif 2050, pour mettre en œuvre des politiques novatrices pour la transition vers un système énergétique décarboné. Le rapportage des conventions internationales sur le changement climatique, l'élaboration de plans énergie/climat, assistance et réalisation de bilans énergétiques.

Mobilité et territoire : soutenant la gestion des systèmes d'information géographique, aménagement du territoire, études cartographiques, planification territoriale, mobilité, en tenant compte des enjeux liés à l'augmentation de l'occupation des terrains, aux besoins en infrastructures et à la protection de l'environnement.

Bâtiment et industrie durable : En considérant la diminution des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030 et la décarbonation des activités dès 2050. En intégrant les questions relatives à l'évolution des industries et des bâtiments, et la réalisation d'analyses thermographiques.

○ **LA VISION**

Le changement climatique, l'exploitation excessive des ressources et la perte de biodiversité découlent du dépassement des limites de durabilité planétaire par les activités humaines. L'ICEDD croit en la capacité de l'humanité, responsable de ces déséquilibres, à atténuer ces problèmes en adoptant une relation plus équilibrée avec la nature.

○ **LA MISSION**

L'ICEDD s'engage à jouer un rôle central dans la promotion du développement durable en soutenant les autorités publiques et les acteurs privés dans leur transition économique, en mettant l'accent sur les aspects environnementaux et sociétaux. Dans cette optique, le bureau participe activement au programme « Green Deal Achats Circulaires de la Wallonie », agissant en tant qu'acheteur et médiateur pour encourager l'adoption de pratiques d'achat circulaire et dynamiser la transition économique régionale.

○ **LES VALEURS**

Pour garantir la fiabilité et la transparence de ses travaux, l'ICEDD s'engage à maintenir une totale indépendance politique et économique, évitant ainsi tout conflit d'intérêts. Les analyses reposent sur des normes rigoureuses de méthodologie scientifique et l'ICEDD mise sur une confiance totale en l'intelligence collective des collaborateurs en comptant sur leur créativité pour accomplir avec succès les missions qui leur sont confiées pour assurer l'avenir de l'ICEDD.

○ **Le projet AwAC-ICEDD**

Le projet des mesures d'adaptation au changement climatique de la Région wallonne de l'AwAC s'inscrit dans un ensemble de projets gérés par l'ICEDD et est supervisé par Monsieur Manu Harchies, Senior Project Manager des thématiques Climat et Transition énergétique.

1.2. Description de la problématique environnementale étudiée

1.2.1. Le changement climatique

Le changement climatique est une préoccupation mondiale, tous les pays sont concernés et cette situation perdurera tout en devenant plus intense dans les décennies à venir [1, 2]. Cependant, bien que des efforts aient été déployés pour réduire ses impacts, le maîtriser reste un défi¹ et il est évident que cela nécessite des stratégies pour faire face aux effets déjà actuels [3]. Cette responsabilité n'incombe pas seulement aux gouvernements, mais bien à tous les niveaux de la société pour prendre des mesures pour se protéger de ses conséquences [4, 1], d'où la nécessité d'adopter des mesures d'adaptation comme le préconise la CCUNCC [5]. L'adaptation au CC permet de rendre les communautés, la biodiversité et les infrastructures plus résilientes face aux effets inévitables, tels que les conditions météorologiques extrêmes [6].

Comme d'autres régions du monde, l'Europe est confrontée aux conséquences du CC. Comparé aux autres continents (Figure 1), l'Europe est plus exposée à une tendance au réchauffement notable, et dont la rapidité à l'échelle mondiale la place en première place [7].

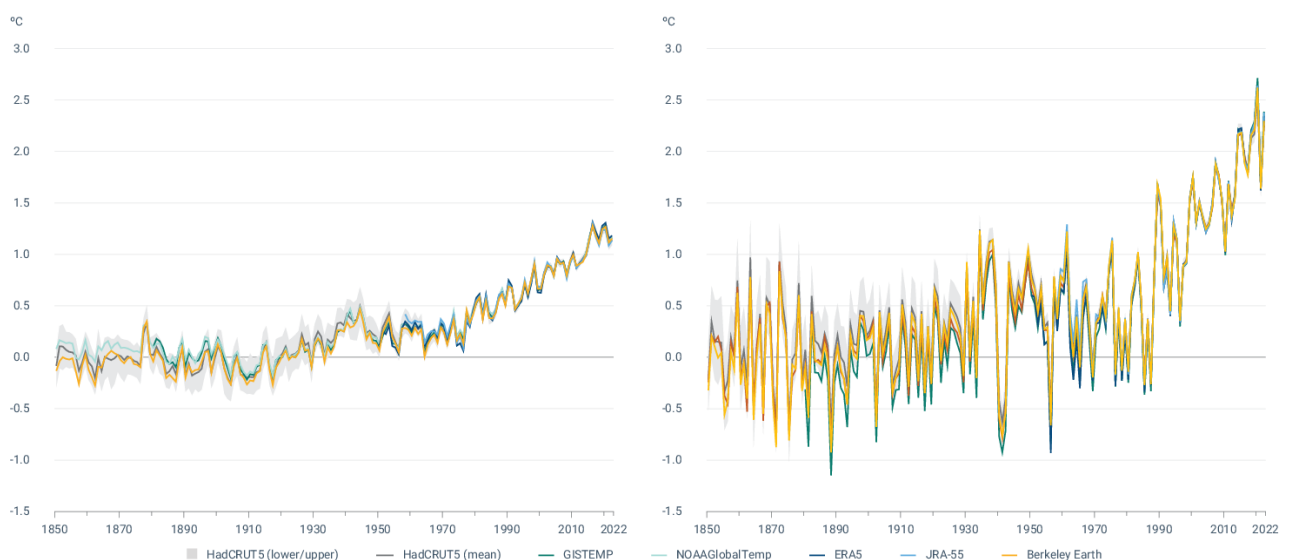


Figure 1. : Comparaison d'anomalies de température annuelle moyenne en surface par rapport à la période préindustrielle 1850-1900, globale (à gauche) et européenne (à droite) [8].

Les projections indiquent que l'Europe connaîtra des températures plus élevées par une augmentation de 1,2 °C à 3,4 °C selon le scénario SSP1-2,6, et cela plus encore selon le scénario SSP5-8,5 de 4,1 °C à 8,5 °C. Cela entraînera une sécheresse accrue dans certaines de ses régions et une augmentation des précipitations, ces effets menaçant la stabilité financière, le bien-être socio-économique et l'intégrité environnementale de l'Europe [9].

¹ <https://www.un.org/en/climatechange/climate-adaptation#:~:text=Beyond%20doing%20everything%20we%20can,days%20or%20sea%2Dlevel%20rise>

Pour lutter contre les impacts croissants du CC, l'Union européenne s'est fixée des objectifs ambitieux de les limiter par des mesures d'adaptation. En février 2021, la Commission européenne a adopté une nouvelle stratégie d'adaptation dans le but de rendre l'Europe résiliente aux impacts climatiques inévitables d'ici 2050. La stratégie souligne que l'adaptation doit être systémique, car le CC affectera tous les secteurs de la société et perturbera son économie. La stratégie met également l'accent sur la collecte de données plus complètes sur les risques liés au climat, la mise en œuvre de planifications d'adaptation systématiques et la réalisation d'évaluations des risques climatiques pour éclairer les décisions politiques [10].

La Belgique, en tant qu'état membre, est concernée par les conséquences du CC. Le pays a déjà fait face à des conditions climatiques extrêmes, telles que des précipitations intenses et des vagues de chaleur, qui ont entraîné respectivement des inondations et des sécheresses importantes [11]. Il était donc primordial pour le pays d'adopter des mesures d'adaptation pour contrer les futures conséquences en mettant en œuvre l'Accord de Paris de 2015 [5]. La Belgique a adopté sa "Stratégie Nationale Climat" par le biais de la Commission Nationale Climat à la fin de l'année 2010. Plus tard, le 19 avril 2017, la Commission Nationale Climat a approuvé le Plan National d'Adaptation. Ce dernier résulte de la fusion des plans d'actions des trois régions et du fédéral [11, 12].

Les trois régions du pays ont actuellement chacune instauré leurs stratégies d'adaptation pour contribuer à la stratégie nationale. Un premier bilan des mesures d'adaptation est prévu d'être effectué cette année en 2024, et leur mise en action sera évaluée en 2026 [11].

En Wallonie, pour encadrer les politiques climatiques, un décret sur le climat a été adopté en 2014, établissant ainsi un cadre juridique dans la région. Le principal outil de mise en œuvre est le PACE, qui comprend un chapitre spécifique consacré à l'adaptation. Parallèlement, l'Agence wallonne de l'Air et du Climat (AwAC) mis en place un outil « Adapte ta commune », visant à faciliter la mise en œuvre des stratégies au niveau local en collaboration avec les communes. En outre, la plateforme Wallonne pour le GIEC a publié en mai 2022 un état des lieux et un cadre de référence scientifique des études existantes en Wallonie sur l'adaptation au CC. L'objectif étant de formuler des recommandations et des suggestions sur les éléments à prendre en compte dans la mise en œuvre des mesures d'adaptation [6].

1.2.2. Effets du changement climatique sur les sols

Parmi les compartiments de l'environnement, le sol joue un rôle crucial en tant que ressource vitale (Figure 2), tant pour les êtres humains que pour la biodiversité dans son ensemble, par ses fonctions écologiques et ses services écosystémiques [13]. Cependant, ce domaine essentiel est menacé par le CC qui affecte ses propriétés physico-chimiques altérant sa nature [14, 15, 16]. Les conséquences de ces effets entraînent d'importantes répercussions sur ses services écosystémiques et engendrent des impacts sur les composantes de l'environnement (Figure 3). Parmi les facteurs aggravant les effets du CC sont les pressions anthropiques qui compromettent la capacité naturelle du sol à faire face aux défis climatiques [17]. Ces pressions affaiblissent sa résilience et amplifient les effets néfastes du CC, exposant les écosystèmes à des conditions météorologiques extrêmes et à leurs conséquences [18].

La combinaison de tous les impacts du CC sur le sol entraîne sa désertification (Figure 3) une dégradation avancée qui favorise l'aridité des sols, augmentant ainsi le risque d'appauvrissement des écosystèmes en raison de l'absence des services écosystémiques [19].

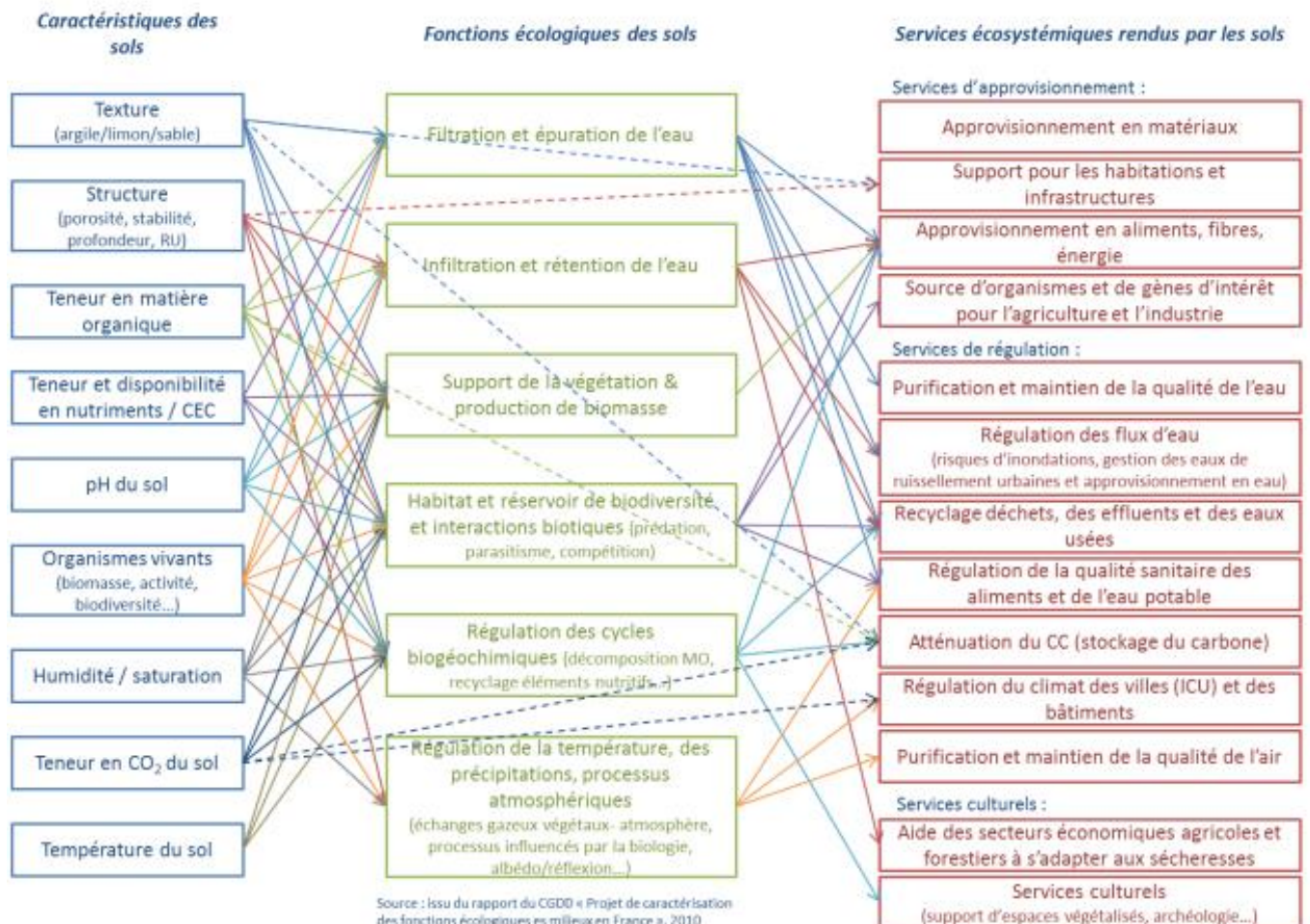


Figure 2. : Liens entre les caractéristiques, fonction écologiques et service écosystème du sol [19].

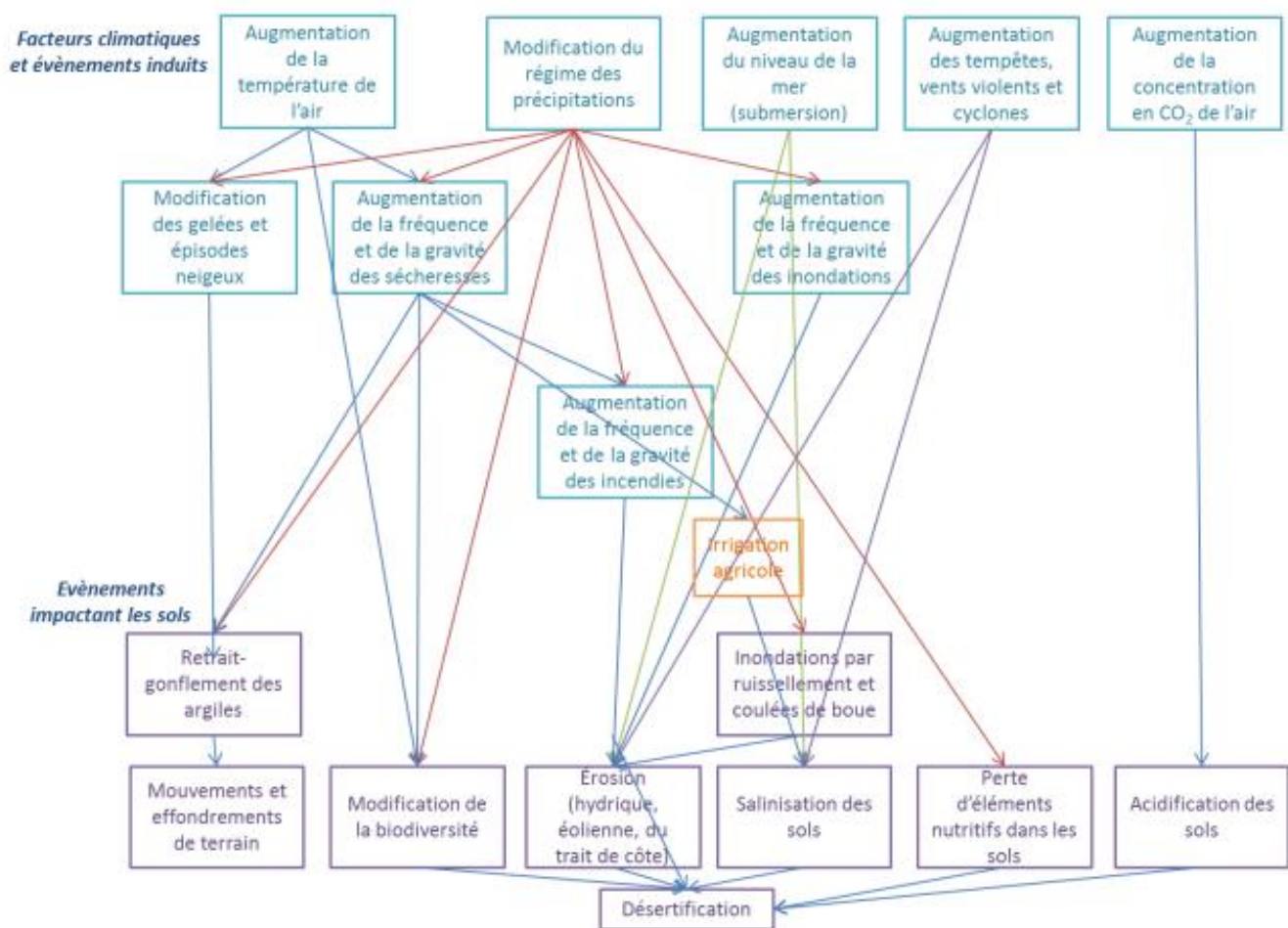


Figure 3. : Conséquences du changement climatique sur les sols [19].

La réalisation d'une étude visant à identifier des mesures d'adaptation du sol au changement climatique représente cependant un défi en raison de plusieurs facteurs complexes [20] :

- La nature complexe et variée des sols, caractérisée par un réseau complexe de réactions et de processus chimiques, biologiques et physiques qui sont souvent sujets à des variations temporelles.
- Les constituants dans ces processus sont présents dans les trois phases du sol : solide, liquide et gazeuse.
- A l'échelle spatiale, les conséquences du changement climatique sur les sols sont influencées par les différences minéralogiques, chimiques et physiques entre les sols.
- A l'échelle temporelle, les événements climatiques extrêmes, tels que les vagues de chaleur et les périodes de sécheresse, peuvent avoir des effets interconnectés à court et à long terme sur les sols, mais leur compréhension complète demeure encore partielle.

1.2.3. Défis pour les sols de la Wallonie

En prenant en compte de la complexité liée aux effets du changement climatique sur les sols [20], dans le cas de la Wallonie, s'ajoute également la diversité de ses sols en termes de texture, de drainage naturel et de variabilité de la charge en caillouteuse des sols caillouteux (Figure 4). Face à cette complexité, il est primordial de mener des recherches approfondies afin de mieux comprendre les effets du CC sur chaque type des sols et de développer des stratégies d'adaptation efficaces adaptées à chaque zone géographique, en prenant en compte les facteurs aggravant la situation tels que la topographie, la géologie, l'hydrologie et les activités anthropiques.

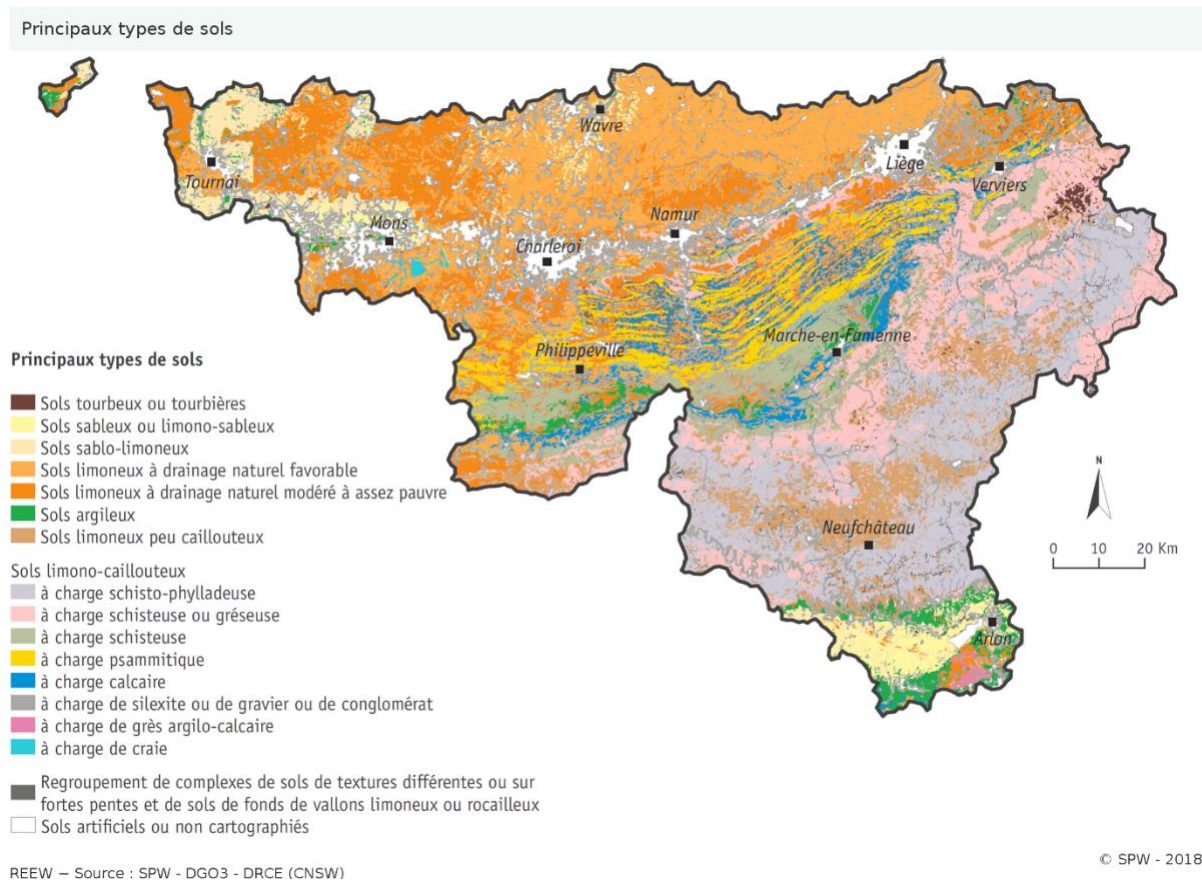


Figure 4. : Principaux types de sol dans la Région Wallonne [21].

1.3. Objectif du stage

Ce stage visait à analyser la vulnérabilité des sols de la Wallonie au changement climatique dans le but de mettre en place des mesures d'adaptation pour renforcer la résilience du territoire. L'objectif principal était d'identifier des mesures qui permettront de contrer la désertification des sols qui est la forme avancée de dégradation (Figure 3).

Ce travail fait suite à des phases entamées du projet qui consistait à dresser un inventaire des outils et des ressources disponibles en Wallonie et en Europe pour aborder les questions de vulnérabilité et d'adaptation au changement climatique.

Les mesures d'adaptation envisagées devaient notamment identifier des sols stratégiques qui contribueraient à la résilience face aux risques climatiques. Les conséquences des aléas climatiques sur les sols devant être représentées à travers des chaînes d'impacts permettant de visualiser l'exposition des sols, leur vulnérabilité, les facteurs aggravants et les impacts potentiels, qui seront atténués par les mesures d'adaptation proposées.

Le stage se basait également sur une évaluation des projections climatiques régionales actuelles et à venir pour faire une analyse transversale de manière holistique avec les vulnérabilités des sols de la Wallonie face au CC, afin d'identifier des pistes d'adaptation prioritaire.

La mise en place de mesures d'adaptation consistait à explorer les outils réglementaires existants aux niveaux de la parcelle, du quartier, de la commune et de la région, relatifs aux sols. Ces informations devaient ensuite être traduites en fiches opérationnelles reprenant les différentes informations suivant la structuration reprise par la Convention des Maires.

La thématiques « sol » du projet de l'AwAC est axée sur 3 approches liés aux impacts du CC sur les sols :

- La sécheresse édaphique
- Les inondations
- Les pertes des valeurs agronomiques des sols agricoles.

1.4. Liens avec les principales références théoriques des cours du Master

La mise en place de mesures d'adaptation liés aux problématiques du changement climatique trouve son origine dans les conventions internationales, les directives de l'Union européenne, qui ont également été adaptées au niveau national et régional Belge. Les cours de droit, *Droit général de l'environnement et du cadre de vie* ([LDROP2061](#)) et *Droit sectoriel de l'environnement* ([LDROP2063](#)), m'ont permis de facilement comprendre les mécanismes juridiques à travers les diverses réglementations environnementales, tant au niveau international qu'au niveau régional pour la mise en œuvre d'une action, l'implémentation d'un projet demandant des procédures d'octroi de permis, les autorités compétentes concernées ainsi que les droits aux financements.

Dans la Région wallonne, l'octroi de permis est souvent accompagné de contrôle par des évaluations des possibles effets des projets concernés sur l'environnement. Le cours de *Méthodes d'évaluation et de gestion environnementale* ([LENVI2011](#)) m'a permis d'avoir un regard critique sur la gestion, le conseil et la mise en œuvre des projets conformément aux réglementations en vigueur.

La problématique de ce stage impliquait également des connaissances techniques sur les mécanismes des sols. Le cours à option *Hydrogeology & Geoenvironnement* ([LGCIV2073](#)) me permis de comprendre les mécanismes liés au cycle hydrologique du sol ainsi que les

caractéristiques du sol. La Pédologie était également abordée lors du cours de *Pollution de l'environnement* ([LENVI2012](#)), avec un approfondissement sur les propriétés physico-chimiques des sols et le comportement des polluants dans ce domaine.

Cela s'associe avec la connaissance acquise lors du cours de *Human and environmental toxicology* ([LB RTE2201](#)) qui m'a permis de comprendre le comportement de tels contaminants dans l'environnement et les répercussions sur les écosystèmes et la santé humaine. Le cours d'*Écologie* ([LBIO1117](#)) me permis d'avoir des outils d'analyses critiques sur les effets de la dégradation des services écosystémiques des sols sur l'environnement.

Pour évaluer les coûts d'investissement et les bénéfices pour la Région et les propriétaires fonciers des mesures d'adaptation, le cours d'*Économie des ressources naturelles et de l'environnement* ([LBIR1362](#)) m'a fourni des outils de réflexion sur les économies environnementale et sociétale.

Effectuer un tel stage demandait d'analyser ce qui avait déjà été mis en place, d'effectuer des recherches et d'adopter des résultats répondant aux attentes des parties prenantes. Grâce aux cours : *Sociétés, populations, environnement, développement: problématiques et approches interdisciplinaires* ([LENVI2101](#)), *Stratégies publiques de mise en œuvre de politiques de développement durable* ([LENVI2010](#)) et *Séminaire en science et gestion de l'environnement* ([LENVI2002](#)) j'ai pu savoir comment avoir des réflexions multidisciplinaires dans le traitement des problématiques et également les méthodes de rapportage et de rédaction d'un rapport professionnel.

Être stagiaire nécessitait également de prendre des initiatives et avoir une aisance dans les décisions à prendre avec le maître de stage, le répondant académique et diverses personnes, d'où l'importance de la formation dans le cours *Atelier en communication environnementale et en gestion des conflits par la négociation* ([LENVI2004](#)) qui m'a permis de savoir comment adopter une aptitude professionnel et diplomatique afin de pouvoir aboutir à des solutions qui convient à toutes les parties prenantes concernées.

2. Contenu du stage

2.1. Méthodologie adoptée

Ce travail s'est principalement basé sur la recherche de plusieurs documents sources qui ont permis d'analyser la problématique en définissant et en identifiant les facteurs de la cause afin d'élaborer des mesures susceptibles de contrer les conséquences du changement climatique sur les sols.

2.1.1. Collecte de données

→ Evaluation des dispositifs en place

La première étape de ce travail consistait à une évaluation des dispositifs en place et une collecte de données qui furent utilisées. Le premier volet, le "benchmarking", a été la principale source d'informations sur la vulnérabilité des sols, les états des lieux et les objectifs attendus dans cette partie du travail. Ce document comprenait les diagnostics de vulnérabilité, l'analyse des risques, la définition du périmètre de l'étude, l'état des lieux et les outils disponibles en Wallonie et en Europe. Son objectif était de diagnostiquer les vulnérabilités afin de renforcer la résilience de la Wallonie face au CC en proposant des scénarios, en évaluant leurs impacts et en proposant des mesures d'adaptation à développer dans les prochaines phases du projet.

Les rapports de la Plateforme Wallonne du GIEC (PwG), ainsi que certains rapports sur l'adaptation élaborés par l'ICEDD au niveau des communes, notamment Ottignies-Louvain-la-Neuve et Namur, ont été pris en compte. L'évaluation de ce qui a déjà été mis en place a permis d'organiser les objectifs pour répondre aux attentes et de proposer certaines initiatives pour les fiches à élaborer.

→ Recherche bibliographique

Le point suivant consistait à effectuer une recherche bibliographique sur la problématique, en lien avec le changement climatique et la pédologie en général, en se focalisant sur la Région wallonne. Cette recherche a été menée à l'aide de revues scientifiques et de documents disponibles au niveau de la Wallonie, notamment l'État de l'environnement en Wallonie, les rapports de la PwG, l'Atlas Pédologique de la Belgique, la Carte Numérique des Sols de la Wallonie ainsi que d'autres revues. Ces recherches ont permis d'établir une base de données pour évaluer la sensibilité des sols et leur réaction au changement climatique.

2.1.2. Analyses des effets du changement climatique sur les sols

→ Présentation des tendances climatiques de la région

Cette étape visait à avoir des données sur les tendances climatiques actuelles de la région afin d'élucider les conséquences attendues. Cette analyse se basait sur les données des services régionaux et nationaux sur le climat, notamment les valeurs de l'IRM, les rapports de la PwG et de l'ECORES qui mettent en évidence les situations climatiques actuelles et à venir.

→ Analyse de la sensibilité des sols wallons

Cette étape est une étude holistique visant à localiser les sols en prenant en compte, en plus des caractéristiques des sols, les facteurs susceptibles d'aggraver les conséquences du changement climatique, notamment les secteurs d'activités et la topographie. Une étude pédologique plus avancée est effectuée par les partenaires du projet, l'ULiège-Gembloux, dont les données seront utilisées pour la phase suivante du projet.

→ Construction des chaînes d'impacts

L'étape suivante consistait à élucider le lien entre l'aléa climatique et les impacts en question qui devront être limités par les mesures conçues, et ce, pour chacune des trois approches de la thématique « sol ».

2.1.3. Élaboration des fiches d'adaptation

Pour chaque impact identifié, des mesures furent proposées en se référant principalement sur les mesures déjà identifiées dans le premier volet du projet, celles qui sont déjà mis en œuvre au niveau régional ainsi qu'à celles jugées efficaces par des recherches. Ces mesures ont été détaillées sur des fiches opérationnelles.

2.1.4. Entretien avec expert

Finalement, pour analyser le contenu et la pertinence des mesures, des entretiens avec des experts ont été établis :

La professeure Madame Degré Aurore (ULiège - Gembloux Agro-Bio Tech), sur l'efficacité et les points d'attention de la gestion intégrée des eaux pluviales comme mesures d'adaptation des sols face aux inondations.

Le Directeur du SPW-SDS Monsieur Amand Michel, sur le plan stratégique de la PAC 2023-2027 et la mise en place des mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC).

Un partage de questions/réponses fut établi avec la directrice Madame Thewissen Frédérique (Direction de la Géotechnique - SPW MI). Cela concernait les mesures de conservation des sols tourbeux et la problématique liée aux retrait et gonflement d'argile dans la Région wallonne. Une interview pour la suite devait être mis en place, bien que cela se déroulera après la fin du stage.

Le cas étant le même pour l'interview programmée au mois de juin avec Madame Goidts Esther, conseillère principale au sein de la Direction de la Protection des Sols - SPW ARNE.

2.2. Présentation de l'étude et des résultats

2.2.1. Tendances climatiques en Wallonie

Selon la PWG, les tendances actuelles et futures du climat en Wallonie sont principalement similaires aux tendances générales présentées dans les rapports du GIEC [6]. Cela se traduit par **une augmentation des températures moyennes durant toutes les saisons, des vagues de chaleur plus intenses et fréquentes**, accompagnées d'une **diminution des précipitations durant l'été**. Quant aux hivers, caractérisés par des **précipitations plus extrêmes**.

En raison de son échelle régionale relativement restreinte, les tendances climatiques de la Wallonie sont adaptées à celles de la Belgique par l'IRM [6]. L'augmentation des températures et les événements extrêmes tels que les fortes pluies et la vagues de chaleur sont d'actualité en

Belgique comme dans tant d'autres pays. La Wallonie a déjà été confrontée à de telles situations, notamment la sécheresse de 2022² et les fortes pluies qui ont causé des inondations en 2021³.

Afin de pouvoir analyser et comprendre cette situation, les données présentées par l'IRM ont été analysées pour obtenir des données sur les tendances climatiques actuelles.

En ce qui concerne l'augmentation de température, les valeurs de l'IRM (Figure 5) indiquent une évolution de la température moyenne de plus de 2,1 °C entre les 30 premières et les 30 dernières années de la série (1833-2023) exprimée comme l'écart en °C par rapport à la normale 1961-1990.

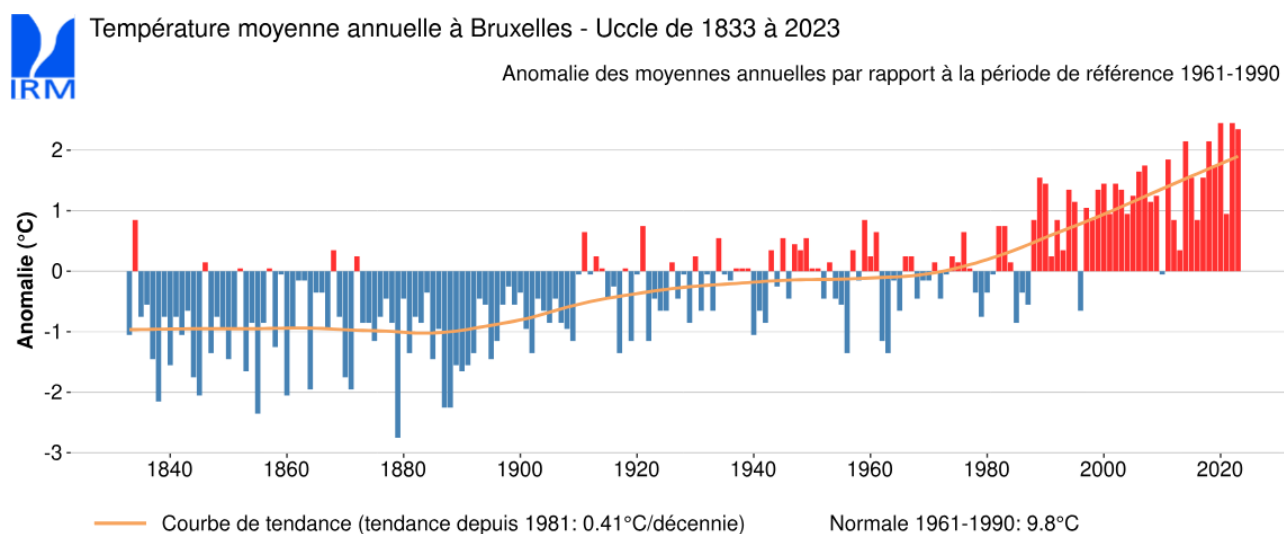


Figure 5. : Température moyenne annuelle à Uccle sur la période 1833 – 2023 [22].

Selon le même graphique, il est visible que la température moyenne a considérablement augmenté depuis 1980, et cela avec une moyenne de 0,41 °C chaque décennie.

Il est à noter que les années 2020 et 2022 ont été les plus chaudes enregistrées en Belgique, avec des températures maximales de 16,1 °C et 16,2 °C respectivement. L'hiver 2020 était également caractérisé par des températures anormalement élevées⁴.

Il y a eu souvent des vagues de chaleur en Belgique⁵. Bien que certaines aient été caractérisées par une durée prolongée, les plus récentes, depuis 2003, ont été de plus courte durée mais se sont distinguées par une intensité particulièrement sévère. Depuis 1981, une augmentation

² La sécheresse qui a touché la Région wallonne l'été 2022 et ayant été la cause d'une perte importante de perte agricoles. <https://www.wallonie.be/fr/actualites/la-secheresse-de-lete-2022-reconnue-comme-calamite-agricole#:~:text=Du%201er%20juillet%20au%2031,de%20b%C3%A9n%C3%A9ficier%20d'une%20indemnisation>.

³ Les inondations du 14 juillet dans la province de Liège qui entraînent des pertes humaines et matérielles. <https://inondations.wallonie.be/>

⁴ <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/changements-observees>

⁵ <https://www.meteobelgique.be/article/articles-et-dossier/le-climat/2084-les-vagues-de-chaleur-en-belgique-depuis-1901.html>

moyenne de +1.99 jours annuels de vagues de chaleurs par décennie a été enregistrée par l'IRM (Figure 6).

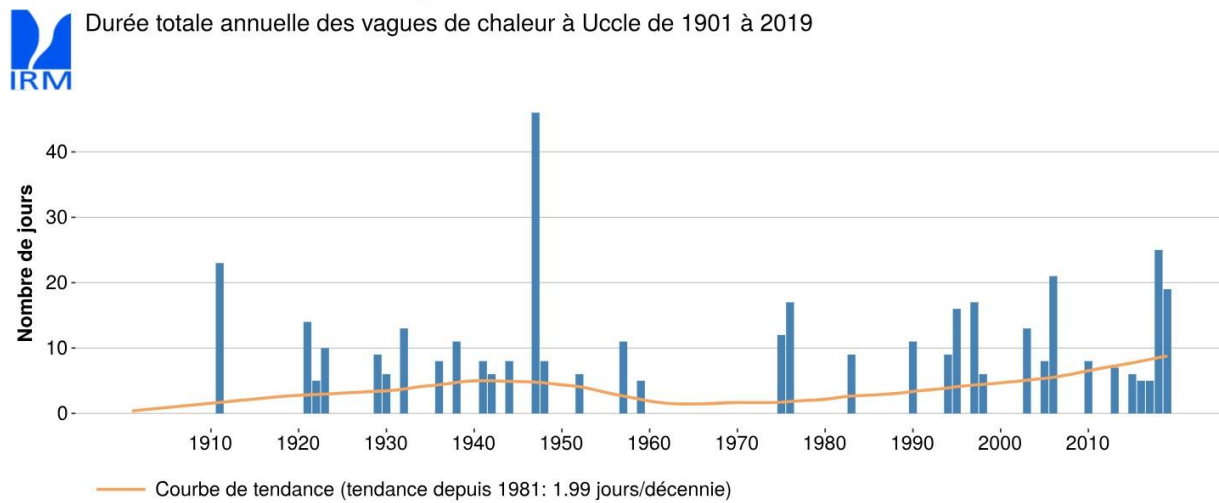


Figure 6. : Durée totale annuelle des vagues de chaleur à Uccle sur la période 1901 – 2019⁶

En ce qui concerne les précipitations, les valeurs de l'IRM présentent une augmentation de plus de 9 % du cumul annuel moyen des précipitations entre les premières et les dernières décennies de la période 1833 – 2023 (Figure 7). Les précipitations extrêmes sont devenues plus fréquentes avec une hausse de +0,59 jour/décennie de précipitations estivales depuis 1981 (Figure 8).

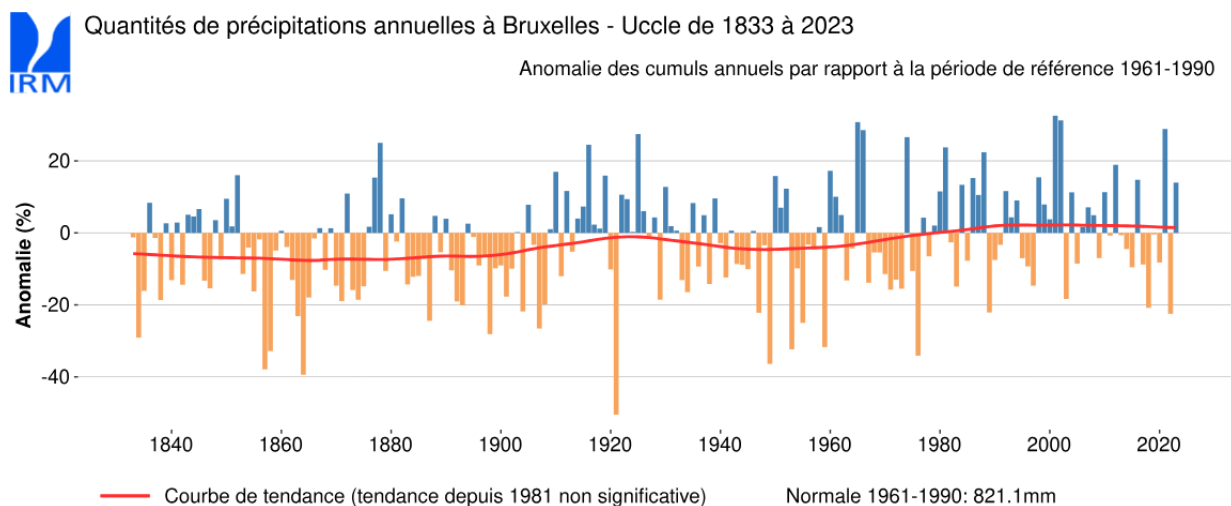


Figure 7. : Quantité de précipitations annuelles à Uccle sur la période 1833 - 2023 [22].

⁶ <https://www.meteo.be/fr/infos/actualite/la-troisieme-vague-de-chaleur-de-2019>



Nombre de jours de fortes précipitations durant l'été à Uccle de 1892 à 2019

Un jour de fortes précipitations est défini ici comme un jour avec 20mm ou plus.

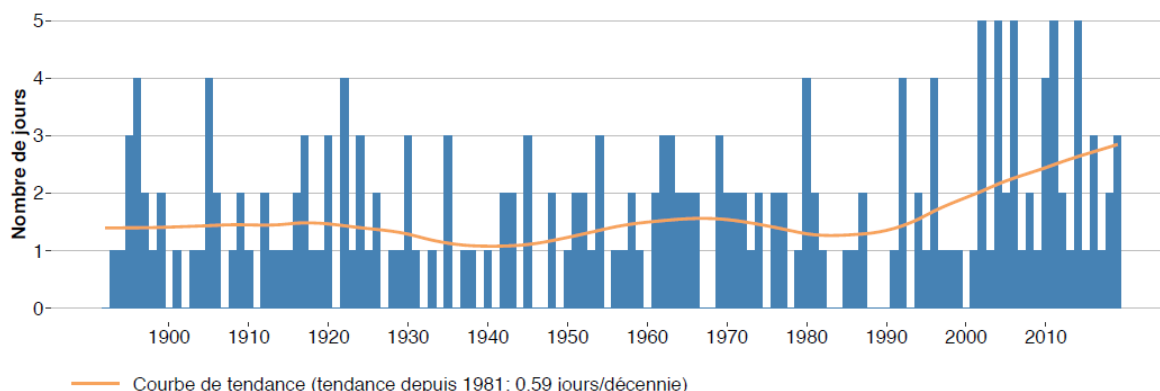


Figure 8. : Nombre de jours annuels de forte précipitations estivales ($\geq 20\text{mm}$) à Uccle sur la période 1892 – 2019.

Pour les périodes sans précipitations exposant à la sécheresse, les données de l'IRM ne révèlent pas de tendances à long terme entre 1892 et 2020, contrairement aux observations précédentes. Cependant, les analyses de l'IRM portant sur le printemps météorologique (du 1er mars au 31 mai) montrent une augmentation significative depuis 1981 du nombre de jours secs au printemps, avec une hausse de 3,4 jours par décennie où les précipitations sont inférieures à 1 mm, ainsi qu'une augmentation de 1,5 jour par décennie des périodes maximales de jours secs consécutifs.

Ces informations ont permis de confirmer les tendances climatiques actuelles que fait face la Région wallonne qui expose les sols à des impacts causés par les aléas climatiques liées à **l'augmentation de la chaleur, pluies extrêmes hivernales et périodes sèches estivales**. D'où l'occurrence de sécheresses, inondations et autres conséquences sur les activités et écosystèmes qui sont liés aux² sols.

En ce qui concerne les projections climatiques futures auxquelles la région devrait s'attendre, le rapport de l'ECORES-TEC sur l'adaptation au changement climatique en Région wallonne [23] fut utilisé.

L'étude réalisée s'est fixée sur les horizons 2030, 2050 et 2085⁷. Pour chaque horizon, des projections moyennes, humides et sèches ont été utilisées et ces projections ont respectivement été choisies à partir de 3 modèles : le modèle 17 (ECHAM5-RegCM3), le modèle 16 (Bergen Climate Model (BCM - HIRHAM5) et le modèle 13 (HadCM3 - HadRM3)⁸.

Le présent Tableau 1, Reprend les informations détaillées des événements climatiques futurs dans la Région wallonne pour les horizons 2030, 2050 et 2085. Pour chaque événement, les couleurs définissent les niveaux d'exactitude des résultats [23].

⁷ Le choix de ces trois horizons repose sur une étude des moyennes sur 30 ans par rapport à la période de référence 1975 (1971-1990). Cependant l'horizon 2020 fut remplacé par l'horizon 2030 (2016-2045) pour permettre aux modèles de présenter des projections climatiques plus fiables. L'horizon 2050 (2036-2065) est prioritaire pour les projets d'adaptation, car l'incertitude socio-économique devient significative après cet horizon. Enfin, l'horizon 2085 (2071-2100) représente le long terme [23].

⁸ Les résultats du modèle ECHAM5-RegCM3 présente un climat modéré, avec des températures et des précipitations moyennes, réparties de manière équilibrée tout au long de l'année. Les deux modèles BCM-HIRHAM5 et HadCM3-HadRM3 présentent des valeurs extrêmes, en termes de précipitations et sécheresse respectivement [23]

Tableau 1. : Tendances générales des projections climatiques futures en Wallonie

Légende

- : Forte Convergence
- : Forte divergence
- : Contraste

<p>Un climat plus chaud</p>	<p>Une élévation généralisée (horizons, saisons, régions) des températures moyennes : Entre +1,3°C et 2,8°C en 2050 et +2 et +4°C en 2085 Les projections moyennes prennent une position intermédiaire : +0,8°C en 2030, +1,5°C en 2050, +2,7°C. Les projections sèches affichent une hausse brutale dès 2030 (+2°C), hausse qui n'est atteinte qu'à l'horizon 2085 par les projections humides. Les températures maximales augmentent plus vite que les températures minimales.</p>
<p>...pas forcément moins pluvieux</p>	<p>Des projections peinant à s'accorder sur le signe du changement du volume de précipitations annuelles : baisse des précipitations en 2030 puis légère hausse en 2050 et 2085 (+4,3%) pour les projections moyennes. Hausse constante pour les projections humides (+8,8% en 2085) baisse pour les projections sèches (-4% en 2085). Des différences régionales plus marquées avec une augmentation des précipitations plus importantes dans les régions Condruz-Famenne et les Ardennes.</p>
<p>Des hivers moins froids et plus pluvieux</p>	<p>Une augmentation progressive et forte des précipitations hivernales selon les projections moyennes avec respectivement +7%, +13,4% et 21,5% pour les horizons 2030, 2050 et 2085. Une augmentation du même ordre de grandeur selon les projections humides mais bien plus brutales avec un saut de 16,4% pour l'horizon 2030. Les projections sèches indiquent une augmentation rapide (+8,4%) pour l'horizon « 2030 » suivi d'un tassement. Des projections qui s'accordent sur une augmentation généralisée des températures en hiver (DJF) : Entre +0,7 et 2,2°C en 2030, +1,5 et +2,6°C en 2050, +2,7 et 3,3°C en 2085. Les projections moyennes indiquent la moins grande augmentation. L'écart entre les projections tend à se réduire en fin de siècle avec moins de 0,6°C de différence.</p>
<p>Des étés plus chauds et secs</p>	<p>Une baisse généralisée des précipitations estivales : diminution progressive des volumes de précipitations selon les projections moyennes -3,2%, -8,4% et -16,9% pour les horizons 2030, 2050 et 2085. Baisse beaucoup plus marquée pour les projections sèches (-25% des précipitations à l'horizon 2085) que pour les projections humides (-8% à l'horizon 2085). Des projections qui indiquent toutes une élévation des températures estivales (à l'exception des projections humides à l'horizon 2030) : Entre -0,1 et +2,3°C en 2030, +1,8 et +3,2 °C en 2050 et +1,3 et 4,5" en 2085. Les « projections sèches » affichent sans surprise la plus forte hausse avec des pics pouvant atteindre +6°C au mois d'août.</p>
<p>Des saisons intermédiaires plus douces</p>	<p>Une augmentation généralisée des températures au printemps et en automne. Des projections qui s'accordent à partir de 2085 sur une augmentation du volume de précipitations en automne : entre +2,7% et +8,4%. Une forte divergence des projections sur le signe du changement au printemps.</p>
<p>Vers plus d'épisodes de pluies intenses en hiver</p>	<p>Une tendance à l'augmentation du nombre de jours annuels de très fortes précipitations. Celle-ci est particulièrement grande pour les projections moyennes qui indiquent +40% d'augmentation à l'horizon 2085 contre +10 et +29% pour les projections humides et sèches. L'augmentation projetée est beaucoup plus importante et constante pour l'hiver, et dans une certaine mesure, pour l'automne. Les contrastes régionaux sont ici plus marqués : augmentation majeure pour la région Lorraine, mineure pour la région Limoneuse.</p>
<p>Des canicules estivales plus fréquentes</p>	<p>A partir de 2050, les projections s'accordent sur une augmentation du nombre de jours de canicules estivales. A cet horizon, le nombre de jours supplémentaire serait compris entre 0,41 (projections humides) et 18 jours (projections sèches). Les projections moyennes indiquent 2,3 jours supplémentaires. En 2085, une augmentation considérable est attendue pour les projections moyennes (+9 jours) et sèches (+28 jours).</p>

De cette évaluation et selon le rapport de l'ECORES-TEC, il a été constaté, de manière holistique :

- ➔ Une augmentation de la température moyenne dans toutes les régions et saisons. Cependant les projections de 2030 montrent une baisse légère de températures estivales de -0,10 °C.
- ➔ Les précipitations devraient augmenter de manière significative dans les régions **Condruz-Famenne** et **Ardennes**, avec une augmentation plus modérée dans la **région limoneuse**⁹ d'ici 2085, tandis que la région de la **Lorraine belge** se trouve entre les deux.

- Cette tendance s'intensifie pour les projections humides, avec des augmentations d'environ 10% pour les régions **Condroz-Famenne** et **Ardennes**, et de 6,4% pour la **région limoneuse**⁹.
- Le nombre de jours annuels de fortes précipitations devrait également augmenter, de même que le nombre de jours de vagues de chaleur estivales, selon toutes les projections et horizons.

2.2.2. Vulnérabilité des sols wallons

Afin de réaliser une analyse transversale des tendances climatiques et de leurs effets sur les sols, il était nécessaire premièrement d'identifier les caractéristiques des sols wallons. Les sols wallons sont variés et une étude approfondie en pédologie pourrait aborder cette problématique de manière exhaustive. Le partenaire du projet de l'AwAC, l'Université de Liège (Gembloux) mène une étude des sols qui viendra approfondir le sujet. Cependant, pour pouvoir traiter la problématique, il a fallu entreprendre par des recherches une classification générale des sols présents dans chacune des zones géographiques de la Région wallonne.

La Wallonie est divisée en cinq zones géographiques: le Nord Sillon Sambre-et-Meuse (Tableau 2), Condroz & Fagne-Famenne-Calestienne (Tableau 3), Les Ardennes (Tableau 4), le Haut Plateaux des Fagnes (Tableau 5) et la Lorraine Belge (Tableau 6). Étant donné que les sols urbains sont caractérisés par des sols artificialisés et imperméables, il a été judicieux d'ajouter une zone « urbaines » (Tableau 7) comme une région caractérisée par un type de sols différent des autres à part entière. C

Pour chaque zone, les types généraux de sols sont présentés ainsi que leur sensibilité liée à leurs caractéristiques. Le relief et le secteur d'activité sont également détaillés car étant des facteurs pouvant contribuer à l'aggravation des conséquences liées au CC.

⁹ La région limoneuse s'étend sur une superficie de 3 941 km² sur l'entièreté de la Région wallonne, à l'exception de la province du Luxembourg. Les sols limoneux rendent cette région fertile et est la plus vaste région agricole [50].

2.2.2.1. Caractéristiques des zones géographiques dans la Région wallonne

Tableau 2. : Caractéristiques de la région Nord Sillon Sambre-et-Meuse

ZONE I : Nord Sillon Sambre-et-Meuse	
Type de sol	Limoneux, sablo-limoneux
Relief	Plaines et bas plateaux. Vallonné et montagneux. Altitudes variant de 80 à 200 mètres.
Sensibilité des sols	Sablo-limoneux : sols légers, tendance acides et capacité de sorption et de rétention très faible. Faciles à cultiver. Limoneux : perméable, drainage favorable. Risque de compaction par les gouttes de pluies, sensibles aux changements des paramètres climatiques.
Principaux secteurs d'activité	Zone de grande cultures
Références	[14, 24, 25, 26, 27]

Tableau 3. : Caractéristiques de la région du Condroz & Fagne-Famenne-Calestienne

Zone II : Condroz & Fagne-Famenne-Calestienne	
Type de sol	Limono-caillouteux
Relief	Condroz : Relief vallonné, (280 m - 335 m). Alternance de crêtes et dépression. Plis synclinaux composés de substrat calcaire et des anticlinaux composés de psammites. Famenne : Relief ondulé et accidenté, (205 m - 340 m). Substrat composé d'un complexe schiste-grès.
Sensibilité des sols	Érosion intense dans les zones riches en substrat schisteux. Présence de grandes dépressions (acide ou calcaire/épais, superficiel). Déficiency en matière organique. Les sols caillouteux augmentant le risque d'érosion. Le type de sol dans cette zone géographique sont également sujet d'une faible épaisseur défavorable aux systèmes racinaires profonds qui préservent la stabilité du sol.
Principaux secteurs d'activité	Zone de grandes cultures Sylvicultures Prairies
Références	[24, 25, 26, 27, 28]

Tableau 4. : Caractéristiques de la région des Ardennes

Zone III : Ardennes	
Type de sol	Limoneux peu caillouteux Limono-caillouteux
Relief	Plateaux La topographie de cette région est un facteur aggravant de l'érosion du sol ; Les régions de Bouillon, Attert et Arlon sont le plus concernées.
Sensibilité des sols	Acides et relativement peu fertile. Sols sur pentes exposés au risque d'érosion.
Principaux secteurs d'activité	Pâturage et sylviculture sur pentes. Terres agricoles rare sur les plateaux.
Références	[24, 25, 27, 28],

Tableau 5. : Caractéristiques de la région du Haut Plateau des fagnes

Zone IV : Haut Plateau des fagnes	
Type de sol	Tourbeux
Relief	Plateaux élevés, point culminant de la Belgique.
Sensibilité des sols	Sensibles aux dessèchement
Principaux secteurs d'activité	Réserves naturelles
Références	[24, 25, 26, 28, 29, 30]

Tableau 6. : Caractéristiques de la région de la Lorraine Belge

Zone V : Lorraine Belge	
Type de sol	Sols variés tendance argileuse, Limono-sableux
Relief	Cuestas ~400m
Sensibilité des sols	Favorable à l'infiltration et la rétention d'eau. Risque de phénomène de retrait et gonflement des sols argileux.
Principaux secteurs d'activité	Zone de grande cultures, sylviculture
Références	[24, 25, 26, 27, 31]

Tableau 7. : Caractéristiques des zones urbaines

Zone VI : Zones urbaines	
Type de sol	Artificialisé, imperméable
Relief	variant
Sensibilité des sols	Capacité d'infiltration de l'eau réduite. Risque d'inondation par ruissellement. Résilience à la sécheresse réduite. Risque élevé de dégradation
Principaux secteurs d'activité	Activités anthropiques
Références	[24, 25, 26, 32]

2.2.2.2. Analyses des approches de la thématique « sol »

Afin de pouvoir analyser les effets des 3 approches (Sécheresse édaphique, inondations et perte de la valeur agronomique) sur les sols wallons, une analyse des états actuels des sols face à ces aléas climatiques a été faite.

La sécheresse édaphique

La sécheresse édaphique résultant d'une diminution de précipitations et une augmentation de jours secs et canicules est estimée à partir des termes du bilan hydrique et de la réserve utile des sols. Ce type de sécheresse est également traduite par « sécheresse agricole » car elle impacte directement la production agricole [33].

En raison de la variété des sols en Wallonie [25], il est évident que certains sols réagissent de différentes manières face à une sécheresse édaphique.

- ➔ **Sols agricoles** : dû à un stress hydrique durant les longues périodes sèches, la réserve utile est impactée ce qui affectent la croissance des cultures provoquant des **pertes de rendement agricoles**. En Wallonie, plus récemment, la sécheresse de 2022 engendra de grandes répercussions sur les rendements agricoles [34].
- ➔ **Les sols imperméables et artificialisés** : empêchant l'infiltration naturelle de l'eau, ces phénomènes conduisent à une **perte des fonctions du sol** menant à une **dégradation de sol** et une exposition accrue à des **sécheresses prononcées** [35]. La Wallonie a un taux d'imperméabilisation qui s'élève à 7,2 % (2007), soit une superficie de 121 794 ha et un taux de sols artificialisés de 10,8 % de la région, soit au moins 1823 km², recensés principalement en zone urbaine (2021) [32].
- ➔ **Les tourbières** : En Wallonie elles sont l'habitat d'une importante rareté écologique d'où l'importance de la préservation de ces sols [36]. Les aspects physiologiques de ces sols leur procurent une résistance à la sécheresse dû à leurs capacités de limitation de l'évapotranspiration. Ces sols peuvent être **stratégiques** par leur capacité de **réguler la rétention d'eau** durant les conditions extrême météorologique telles les inondations et d'**atténuation du**

réchauffement climatique par le **stockage de Carbone** responsable du changement réchauffement climatique [37, 38, 29]. Cependant, il y a un fort risque d'émission CO₂ en cas de **dessèchement des tourbières** [37].

→ **Les sols argileux** : Avec les évènements climatiques extrêmes le phénomène de **retrait et gonflement des argiles** est attendu de s'accroître et cela affectera les sols argileux notamment sur les propriétés hydromécaniques [39, 40, 31]. Ce phénomène affecte de façon importante les infrastructures par la fissuration (Photo 2) [31]. Les périodes longues de sécheresse prévue dans les projections climatiques futures engendreront **une dessiccation** plus intense en profondeur qui augmentera davantage les dommages sur les infrastructures des zones concernées par ce phénomène [39].



Photo 2. : Un mur fissuré sous l'effet de RGA [41].

Les inondations

Ce phénomène, lié aux précipitations extrêmes, est courant en Wallonie. Sur l'ensemble de la superficie régionale, environ **10 % des territoires sont classés à risque d'inondation**. Depuis 2011, le SPW ARNE a analysé plus de 1 000 sites en réponse aux inondations causées par le ruissellement agricole seul, touchant près de 160 communes [42].

Deux principaux types d'inondations sont distingués en Wallonie : les **inondations par débordement** associées aux crues des cours d'eau, touchant les zones riveraines, et les **inondations par ruissellement** qui surviennent lorsque les eaux de pluie ne peuvent pas s'infiltrer dans le sol, provoquant des inondations locales [42, 43, 44].

- Les inondations récentes qui ont lourdement affecté la province de Liège en 2021 [45], soulignent l'impact aggravant de **l'urbanisation** sur le risque d'inondation, en raison de **l'imperméabilisation et de l'artificialisation des sols**, réduisant leur capacité d'infiltration et augmentant le ruissellement des eaux pluviales (Photo 3).



Photo 3. : Inondation de 2021 dans la province de Liège [46]

- Les inondations par ruissellement sont également la source d'**érosion du sol** et autres phénomènes qui y sont liés telles les **coulées boueuses** et les **sédimentations** dans les cours d'eau [42, 44, 47].
- En Wallonie tous les types de sols qui ne sont pas artificialisés sont affectés par l'érosion hydrique allant jusqu'à 2,3 t/(ha/an) de pertes en sol en moyennes pour une période de 5 ans (2017-2021), et ce taux a considérablement augmenté jusque 4t/ha lors des pluies extrêmes de 2021 [32].
- Selon l'État de l'environnement en Wallonie, les sols occupés par de grandes cultures sont les plus affectés, comme c'est le cas pour la **Région Limoneuse**⁹, la **Région Sablo-Limoneuse**¹⁰ et le **Condroz**. Les sols du Condroz sont également caractérisés par une charge caillouteuse et une faible profondeur qui ne favorisent pas l'enracinement profond des plantes, augmentant ainsi l'exposition à l'érosion [32]. Les **sols cultivés** sont **plus exposés** à l'érosion et montrent une perte plus importante en Wallonie, avec des valeurs allant de 8,5 t/(ha.an) entre 2017 et 2021 [32]. Le **couvert végétal**, en tant que mesure de résilience des sols face aux **ruissellements en surface**, rend les sols sous couvert permanent plus résistants à l'érosion.

¹⁰ Dans la Région wallonne, la région sablo-limoneuse s'étend sur une superficie de 1080 km² sur les provinces du Hainaut et du Brabant wallon. Le type de sol de cette région favorise les grandes cultures et les prairies permanentes [50].

- La topographie aggrave les impacts liés à l'érosion. Les sols situés en zones élevées ont une tendance plus élevée à l'érosion lors des ruissellements d'eau, c'est le cas pour les régions de **Bouillon**, d'**Attert** et **Arlon**¹¹ [32].

La perte de valeur agronomique

En Wallonie, les sols agricoles exposés à la sécheresse, aux inondations et aux conséquences qui en découlent tels l'érosion et les coulées boueuses, présentent un risque de dégradation de leurs valeurs agronomiques. Certaines méthodes agricoles de travail du sol aggravent les conséquences et l'entière de ses conditions affectent le **taux de matières organiques** qui favorisent les services écosystémiques et améliore la résilience du sol face au changement climatique [28, 48, 49].

- Les teneurs en **carbone organique total (COT)** dans les sols agricoles de la Wallonie montrent généralement une tendance croissante du nord-ouest vers le sud-est, reflétant les variations géographiques liées au climat, à l'occupation des sols et aux types de sol [28].
- Les régions plus froides et humides des **Ardennes** favorisent l'accumulation de matière organique, tandis que **les sols sous prairies permanentes**, plus fréquents à l'est et au sud, présentent des teneurs en COT plus élevées que ceux sous cultures dû à la densité racinaire plus importante et l'absence de labour [28].
- Quant aux **sols à texture sableuse**¹², ils sont **moins favorables** à la préservation de la matière organique, ce qui explique en partie les teneurs en COT plus faibles dans certaines régions [28].

¹¹ La région de Bouillon est localisée dans la zone géographique des Ardennes, la région d'Attert dans la zone de la Lorraine belge, touchant les Ardennes, et la région d'Arlon dans la zone de la Lorraine belge [27, 51, 52].

¹² La région agricole de la Campine hennuyères localisé dans la province du Hainaut, est caractérisé par un sol sablonneux qui le rend pauvre et moins favorable à l'agriculture [50].

2.2.3. Chaines d'impacts

Avec l'objectif d'aboutir à l'élaboration des mesures d'adaptation, des chaînes d'impacts ont été construites (Figure 9, 10 et 11) afin d'élucider tous les facteurs concernés dans l'occurrence des impacts du CC sur les sols wallons pour les 3 approches à traiter : sécheresse édaphique, inondation, pertes des valeurs agronomiques.

Pour chaque chaîne d'impact, la structure est la suivante :

- **L'aléa climatique** : Suite à l'analyse des données relatives aux tendances climatiques régionales, les phénomènes météorologiques induits par le CC sont répertoriés dans cette section en fonction de l'approche concernée.
- **L'exposition** : Cette partie concerne les types de sols qui sont à risque dans la zone géographique en danger.
- **La vulnérabilité** : Cela représente les éléments qui influencent le degré de sensibilité du sol par rapport à sa résistance face au CC qui le menacent.
- **Les impacts** : les conséquences de la combinaison des différentes dimensions du risque.

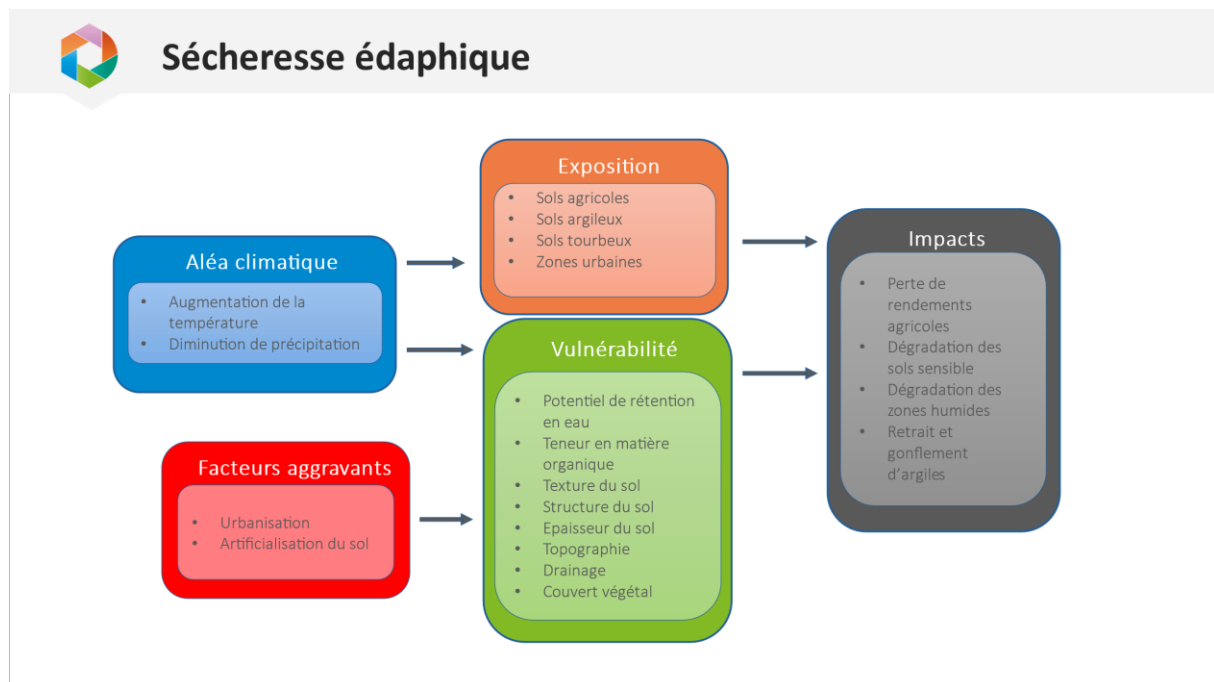


Figure 9. : Chaîne d'impact de l'approche « Sécheresse édaphique ».

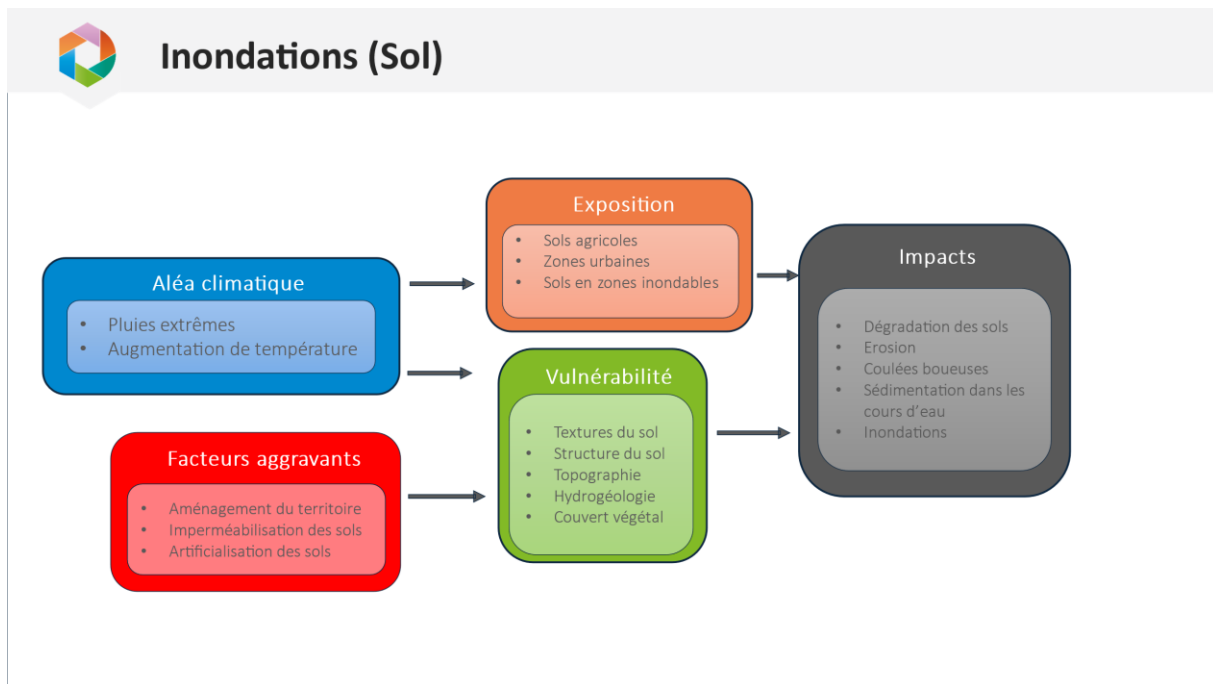


Figure 10. : Chaîne d'impact de l'approche « Inondations ».

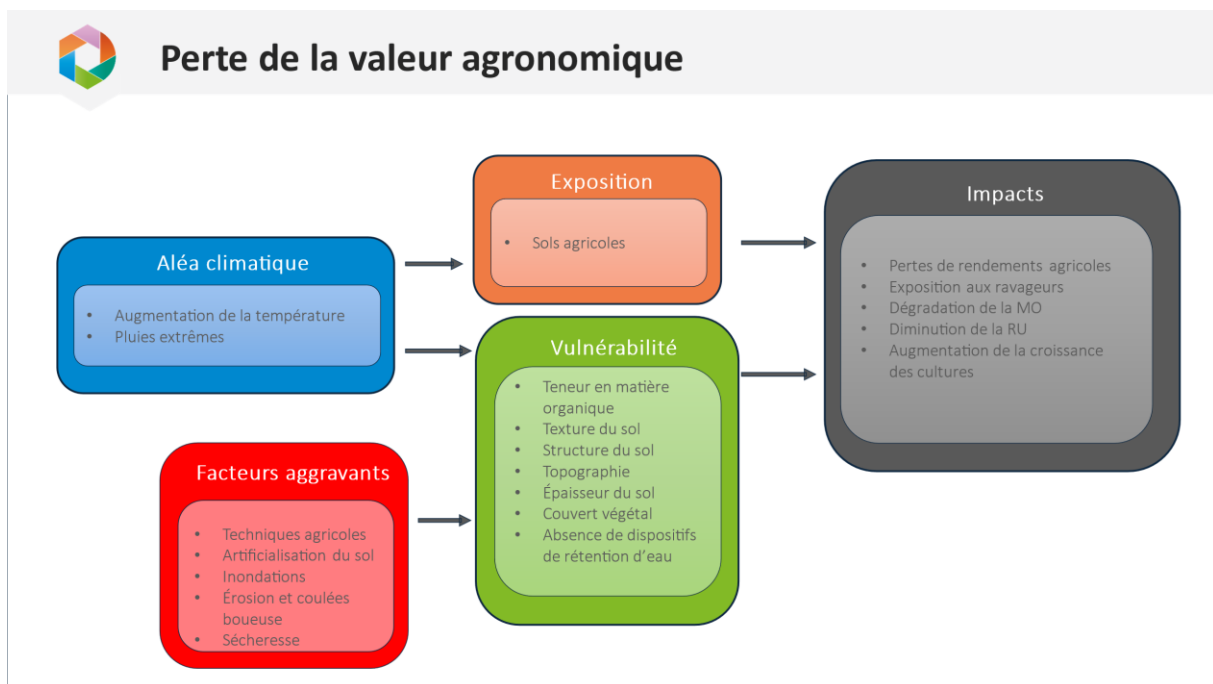


Figure 11. : Chaîne d'impact de l'approche « Perte de la valeur agronomique ».

2.2.3.1. Mesures d'adaptation par approche

Pour les trois approches, les présents tableaux récapitulatifs 8,9 et 10, ont été établis, mettant l'accent sur les mesures d'adaptation susceptibles de limiter leur occurrence. Les tableaux reprennent les informations obtenues dans l'analyse transversale des tendances climatiques et des types de sols wallons selon les zones géographiques.

Les suivantes mesures ont été sélectionnées. La plupart d'entre elles étaient déjà mis en place par la Région wallonie, tandis que d'autres ont été choisies à la suite de recherches.

Liste de mesures d'adaptation du sol
Mesure Agro-Environnementales et climatiques Sol R14 (MAEC Sol R14)
Dispositifs anti érosifs
Désimperméabilisation & Désartificialisation
Gestion intégrée des eaux pluviales
Conservation des tourbières
Adaptation au Retrait et Gonflement d'Argiles (RGA)
Plantations des haies
Rotation des cultures BCAE7
Couverture végétale (BCAE8, PGDA, BCAE6)

Tableau 8. : Mesure d'adaptation de l'approche « inondation »

Inondation			
Aléas climatiques : Précipitation extrêmes, augmentation des températures			
Impacts	Mesure d'adaptation	Sols concernés	Zones
Dégradation des sols	MAEC Sol R14	Tous type de sol	I, II, III, IV, V, VI
Coulées boueuse	Dispositifs anti érosifs, Plantations des haies, Couverture végétale (BCAE8, PGDA, BCAE6)	Sols Agricoles, Sols sur pentes	I, II, III
Sédimentation dans les cours d'eau	Dispositifs anti érosifs, Plantations des haies, Couverture végétale (BCAE8, PGDA, BCAE6), Gestion intégrée des eaux pluviales	Sols Agricoles, Sols sur pentes	I, II, III
Inondations	Désimperméabilisation et Désartificialisation, gestion des eaux pluviales, Couvertures végétale	Tous type de sol	I, II, III, IV, V, VI

Tableau 9. : Mesure d'adaptation de l'approche « sécheresse »

Sécheresse édaphique			
Aléas climatiques : Diminution de précipitation, augmentation des températures			
Impacts	Mesures d'adaptation	Sols concernés	Zones
Pertes rendement agricoles	Couverture végétale, rotation des cultures, MAEC Sol R14	Sols Agricoles,	I, II
Dégradations des sols	MAEC Sol R14, Désimperméabilisation et Désartificialisation	Tout type de Sol	I, II, III, IV, V, VI
Retrait et gonflement d'argile	Adaptation au RGA	Sols argileux	V
Dégradation des tourbières	Conservation des tourbières	Sols Tourbeux	IV

Tableau 10. : Mesure d'adaptation de l'approche « Pertes de la valeur agronomique »

Perte de la valeur agronomique			
Aléas climatiques : Diminution de précipitation, augmentations des températures, pluies extrêmes			
Impacts	Mesures d'adaptation	Sols concernés	Zones
Pertes rendement agricoles	Couverture végétale, rotation des cultures, MAEC Sol R14	Sols Agricoles	I, II, III, V
Exposition aux ravageurs	Rotation des cultures	Sols Agricoles	I, II, III, V
Diminution de la RU	Gestion des eaux pluviales, Couverture végétale, MAEC Sol R14	Sols Agricoles	I, II, III, V
Dégradation de la matière organique	MAEC Sol R14	Sols Agricoles	I, II, III, V
Augmentation de la croissance des cultures	F a v o r a b l e	Sols Agricoles	I, II, III, V

2.2.4. Élaboration des fiches opérationnelles

La structure de chaque fiche reprend principalement les informations proposées par la Convention des maires pour l'encodage d'une action sur le site.

Toutefois, en fonction des données disponibles, certaines fiches contiendront plus ou moins d'informations dans certaines sections.

Les fiches sont composées des sections suivantes. :

Description : Cette introduction offre une vue d'ensemble en détaillant les liens entre les aléas climatique et les conséquences liées au CC ainsi que les avantages de la mise en œuvre de la mesure concernée. Cette partie vise à éclairer les lecteurs sur les raisons d'adoption de la mesure.

Sols concernés et cartographie : Cette section liste les zones concernées et permet de les localiser à l'aide des cartes mis à disposition par la Région wallonne.

Présentation des solutions et choix du système : Cette section élucide les différentes solutions envisagées pour répondre aux défis liés au CC. Elle détaille les options techniques, les pratiques innovantes et les stratégies de gestion de la mesure.

Acteurs et partenaires : Il s'agit de suggestions de service communal considérées comme les plus opportunes pour la mise en œuvre de l'action. Les acteurs concernés sont également identifiés selon leur secteur d'activité, ainsi que certains organismes pouvant être impliqués dans la mise en place du projet par les autorités compétentes.

Mise en œuvre : Cette partie est plus technique, présentant les installations, les dispositifs et les étapes à effectuer pour mettre en action les mesures. Dans la plupart des cas, des liens et des contacts sont fournis pour obtenir plus d'informations pour ceux souhaitant mettre en œuvre la mesure.

Réglementation : Cette section présente un aperçu des cadres réglementaires et juridiques pertinents pour la mise en œuvre de la mesure. Elle inclut les lois nationales et régionales, les directives européennes, les politiques sectorielles et les normes internationales. En clarifiant les obligations légales et les contraintes réglementaires, elle facilite la conformité et la prise de décision stratégique dans le processus d'adaptation.

Calendrier : Cette partie comprend principalement la durée estimée pour la mise en place de la mesure comprenant le début de la mise en œuvre jusqu'à la finalisation. Pour certaine mesure, l'estimation sont tirée de projets réussis.

Coûts : Cette partie sur le coût d'investissement est plus détaillée sur certaines mesures plus que d'autres selon les sources qui étaient à disposition. Pour la phase suivante du projet l'avis d'un expert en économie de la région ou des communes serait envisageable.

Budget : Cette section concerne l'estimation du coût total de la mise en place de la mesure basée sur des dispositifs déjà mis en place. Cela implique de faire référence à des projets ayant abouti à des résultats pertinents dans la Région wallonne ou ailleurs afin d'en estimer les coûts.

Hypothèses et limites du budget : Cette partie examine les hypothèses sous-jacentes à l'estimation des coûts de mise en œuvre des mesures d'adaptation. Elle prend en compte les variations possibles des coûts, les incertitudes et les contraintes budgétaires des acteurs impliqués. En identifiant les limites et les risques associés au budget, elle contribue à une planification financière plus réaliste et à une gestion efficace des ressources.

Pistes de financement : Cette section explore les différentes sources de financement disponibles pour soutenir la mise en œuvre des mesures d'adaptation au changement climatique liés aux sols. Elle inclut les subventions gouvernementales, les fonds de développement régional, les initiatives privées, les partenariats public-privé et les mécanismes de financement internationaux. Elle vise à identifier les opportunités de mobilisation de ressources financières et à faciliter l'accès à ces fonds pour les projets d'adaptation.

Risque Climatique : Cette section présente les risques climatiques spécifiques auxquels les sols sont exposés ainsi que les conséquences de ces événements.

Secteurs concernés : Liste des secteurs pouvant être affectés par les aléas climatiques selon la Convention des Maires.

Population vulnérable : Types de populations qui devraient bénéficier de ces mesures, car elles sont susceptibles d'être affectées par les impacts climatiques en raison de leur exposition potentielle aux risques climatiques.

Freins : Il est présenté dans cette sections les facteurs qui pourrait poser une barrière dans la mise en place des mesures

Points d'attention : Cette section concerne les points à prendre en compte lors de la mise en œuvre des techniques. Toutefois, il se pourrait que ces points soient considérés comme étant des exemples de "maladaptation". Mais cette classification nécessite une confirmation par des experts dans le domaine concerné pour déterminer si la mesure présentée pourrait en effet entraîner des inconvénients techniques pouvant augmenter ou produire de nouveaux impacts liés au changement climatique. Par conséquent, il a été décidé de maintenir le terme "point d'attention" afin de signaler la nécessité d'une vigilance particulière sans pour autant confirmer qu'il s'agit effectivement d'une maladaptation.

Références : Les documents sources utilisés pour l'élaboration des fiches opérationnelles sont listés dans cette section.

La présente est la fiche opérationnelle « Conservation des Tourbières »
Les fiches complètes sont disponibles en **Annexe II**.

7. Conservation des tourbières

CONSERVATION DES TOURBIERES

Description

Les projections climatiques futures indiquent une diminution des précipitations et une augmentation des températures. Dans le contexte d'adapter des mesures d'adaptation, il est essentiel d'intégrer des solutions naturelles. Certains sols par leurs caractéristiques se révèlent stratégiques dans la limitation des aléas climatiques.

Parmi les sols stratégiques, les tourbières présentent une utilité. Leur superficie en Wallonie cependant est relativement moins importante (représentant moins de 0,9 % de la région), seulement 300 hectares sont considérés comme préservés dans leur état d'origine. Les écosystèmes des tourbières abritent une biodiversité rare et d'où l'importance de prendre des mesures de protection et de restauration. Elles sont actuellement soumises aux impacts liés à l'activité humaine, contribuant à leur dégradation par certaines méthodes tels que le fauchage, le détournage et le drainage qui provoquent le dessèchement et la pollution de ces sols.

Ces sols ont la capacité de réduire les émissions de CO₂, ce qui en fait des éléments clés des stratégies d'atténuation du changement climatique et peuvent également créer un microclimat local plus frais en humidifiant l'air grâce à l'évapotranspiration par la végétation qui y pousse.

Ces sols jouent également un rôle dans la régulation de l'équilibre hydrologique régional. Ils agissent en tant que réservoirs d'eau par leur capacité considérable de stockage de l'eau, allant jusqu'à 90 % de leur volume, et interagissent étroitement avec leur environnement : ils peuvent retenir de grandes quantités d'eau pendant les périodes de précipitations extrêmes, réduisant ainsi le risque d'inondations. Durant les périodes de sécheresse, ils ont la capacité de transmettre l'eau retenue dans les zones environnantes en état de dessèchement, agissant en source de réapprovisionnement.

Cependant elles sont sensibles au dessèchement en cas de dégradation et peuvent émettre une quantité importante de carbone dans l'atmosphère. Les périodes longues de haute température et de climat sec, associées aux vents, provoquent également une exposition au dessèchement de la couche supérieure des tourbières augmentant le risque de feu de tourbe.

Pour contrer cette menace, il est impératif de préserver les tourbières contre la sécheresse en mettant en œuvre des mesures de conservation et de gestion adaptées.

Sols concernés et Cartographie

Hautes Fagnes, Plateau des tailles, plateau Saint Hubert, Plateau de Recogne, Plateau de la Croix-Scaille, Marais de la Haute Semois.

Le portail de l'Environnement en Wallonie permet d'identifier la localisation et les différents biotopes des tourbières de la Wallonie. Cet outil offre des informations détaillées pour chaque type de tourbières ainsi que les législations de protection en vigueur.

Accessible en ligne : <http://biodiversite.wallonie.be/fr/d-tourbieres-et-bas-marais.html?IDC=978>.

Contact : Observatoire de la Faune, de la Flore et des Habitats : offh@spw.wallonie.be

Présentation des solutions

Les tourbières sont reprises dans les sols de zones humides devant être protégés (BCAE2 de la réforme de la PAC 2023-2027), interdisant toute forme de labour, tout travail non superficiel du sol, drainage, modification du relief du sol et les remblais.

Le projet de recherche de l'ELIA-UCLouvain sur la restauration des tourbières en Wallonie propose trois étapes pouvant restaurer des tourbières en état de dégradation avancée :

Les techniques suivantes sont des méthodes efficaces pour la protection des tourbières :

- Restriction de l'emprise des espèces exogènes ou compétitrices.
- Réimplantation et gestion de la végétation.
- Ré-humidification, par restrictions de drains dans les zones environnantes permettant également de rendre ces zones plus humides. D'autres systèmes peuvent permettre également une accumulation en eau, tels que les barrages (*Photo 5*), la création de points d'eau, le décapage et l'étrépage favorisant les conditions de réhumidification des sols tourbeux par la fluctuation de la nappe perchée.
- Les conditions hydriques adéquates rendent la recolonisation des espèces végétales des tourbières possibles.
- Les couvertures protectrices en pailis peuvent favoriser la survie des plantes natives des zones.



Photo 5. Barrage en tourbières. Source : (IUCN, 2024)

Il est à noter que ces méthodes sont également reprises dans les recommandations de techniques de restauration des tourbières dans la convention de Ramsar.

La convention de Ramsar présente des techniques d'installations permettant la réhumidification de ces zones, qui est la méthode la plus importante pour restaurer les tourbières menacées, notamment la construction de barrages, les déversoirs et les dérivations associées, le remblayage, les ravines et les revêtements.

Les détails techniques de ces techniques sont disponibles en ligne :

<https://sites.uclouvain.be/tourbiere/tourbiere/Accueil.html>.

Contact : Professeure Anne Laure Jacquemart anne-laure.jacquemart@uclouvain.be

Acteurs et partenaires



Cette fiche s'adresse aux propriétaires de parcelles classées en BCAE2 et principalement aux administrations communales où les zones de tourbières sont présentes, notamment :

- Fagne-Famenne
- Hautes Fagnes
- Vallée de la Lienne
- Vallée de l'Ourthe
- Entre-Sambre-et-Meuse

Le SPW ARNE - Département de la Nature et des Forêts responsables des politiques et réglementations relatives aux zones naturelles des tourbières.

Et pour tout dispositif relatif à la restauration et à la conservation des zones humides, la Direction Générale de l'Environnement (DGO3) est compétente.

Mise en œuvre

La présente mesure est classée BCAE 2 dans le cadre de la réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) pour la période 2023-2027. Elle recommande aux propriétaires de sols classés comme "humides" selon les types tourbeux, para-tourbeux et de faible drainage de classe, de mettre en œuvre des pratiques visant à préserver ces sols. Cela inclut également les prairies permanentes exposées aux inondations par débordement.

Les propriétaires des sols codés "HU" sont tenus de mettre en place des dispositifs conservant l'état de ces sols, notamment en évitant toute forme de labour et travail non superficiel du sol, drainage, Ou tout type d'activité pouvant modifier le relief du sol et remblais.

Les autorités administratives sont tenues d'appliquer une réduction des aides liées à la protection des sols en zones humides en cas de non-respect de ces règles.

Réglementation

Le 8 juin 1989, l'Arrêté de l'Exécutif régional wallon concernant la protection des zones humides d'intérêt biologique a été promulgué.

Ces sols bénéficient de la protection du réseau Natura 2000, conformément à la [Directive Habitats \(92/43/CEE\)](#) qui vise à la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore.

Ainsi que la [Convention de Ramsar](#) qui a pour objectif la protection et la conservation des zones humides à travers le monde.



Calendrier : La restauration nécessiterait en moyenne 2-5 ans



Pistes de financement :

LIFE finance des projets visant à la conservation de la biodiversité et liés à l'action climatique. Actuellement en Belgique, le projet [Natuurpunt](#) est financé par LIFE pour la restauration et l'amélioration des zones humides, avec un budget de 7,7 millions € sur 5 ans.

En Wallonie, c'est le projet [LIFE-Anthropofens](#) qui est financé pour la protection des tourbières en France et en Belgique, y compris les tourbières alcalines de la Lorraine belge

Risque Climatique

- Chaleur extrême
- Précipitation extrême
- Inondations
- Sécheresse
- Mouvement de terrain
- Feu de forêt
- Réaction chimique
- Hazard Biologique

Secteurs Concernés

- Bâtiments
- Transport
- Énergie
- Eau
- Déchet
- Aménagement du Territoire
- Agriculture et foresterie
- Environnement et biodiversité
- Santé
- Protection civile et émergence
- Tourisme
- Éducation
- TIC

Populations vulnérables

- Femmes et filles
- Enfants
- Jeunes
- Personnes âgées

- Groupes marginalisés
- Handicapés
- Personnes atteintes de maladies chroniques
- Ménages à faible revenu
- Personnes sans emploi
- Personnes vivant dans des logements insalubres
- Migrants et personnes déplacées
- Autre
- Tous

Références

- Cholet, J., & Magnon, G. (2010). *Tourbières des montagnes françaises: nouveaux éléments de connaissance, de réflexion & de gestion*. (P.-r. tourbières, Éd.)
- Convention sur les zones humides. (2021). Restaurer les tourbières drainées : une étapes nécessaire à la réalisation des objectifs climatiques mondiaux. Note d'orientation n° 5. 2021.
- ELIA-UCLouvain. (2014). *Au pays des tourbières*. Récupéré sur <https://sites.uclouvain.be/tourbiere/tourbiere/Accueil.html>
- EUR-Lex. (1992, Mai 21). *Directive 92/43/CEE du Conseil*. Récupéré sur <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A31992L0043>
- Eurosite. (s.d.). *Belgium*. Récupéré sur Peatlands for climate and biodiversity, INTERREG NWE CARE-PEAT: <https://www.eurosite.org/wp-content/uploads/2023/07/BELGIUM-7.pdf>
- Günther, A., Barthelmes, A., Huth, V., & al., e. (2020). Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nat Commun*, 11, 1644. doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-020-15499-z>
- IUCN. (2024). *Peatland Programme*. Récupéré sur High Peak Moors (Kinder and Bleaklow): <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/projects/high-peak-moors>
- La biodiversité en Wallonie. (s.d.). *D - Tourbières et bas-marais*. Récupéré sur <http://biodiversite.wallonie.be/fr/d-tourbieres-et-bas-marais.html?IDC=978>
- LIFE-Anthropofens. (2024). Récupéré sur <https://www.life-anthropofens.fr/>
- Natuurpunt.be. (2024). Récupéré sur <https://www.natuurpunt.be/>
- Portail de l'agriculture wallonne. (2023). *BCAE 2 Protection des zones humides et des tourbières*. Récupéré sur <https://agriculture.wallonie.be/bcae-2-protection-des-zones-humides-et-des-tourbieres>
- WALLEX. (2023, février 23). *Arrêté ministériel exécutant l'arrêté du Gouvernement wallon du 23 février 2023 relatif à l'aide aux mesures agro-environnementales et climatiques*. Récupéré sur <https://wallex.wallonie.be/eli/arrete/2023/02/23/2023042745/2023/07/30#1d144439-d0da-4007-a27d-454445794922>

2.3. Analyse critique de leur applicabilité

Pour pouvoir apporter un soutien au projet, il était nécessaire d'aborder la problématique de manière globale afin de présenter dans la période limitée du stage des résultats utiles pour les phases suivantes. Les résultats présentés sont effectivement généraux, nécessitant une exploration plus approfondie pour déterminer les outils à utiliser pour chaque variété de sol à travers la Région wallonne.

Par exemple, pour la région du Condroz généralement de type limono-caillouteux, présente plusieurs séries de sols [24]:

Sols limoneux à charge calcaire, à horizon B structural,

Sols limoneux à charge argilo-calcaire, à horizon B textural ou à horizon B structural,

Sols limoneux à charge de silexite, à horizon B textural, et autres.

Ainsi que des complexes :

Complexe de sols limoneux et limono-caillouteux à horizon B textural

Complexe de sols sur matériaux limoneux ou limono-caillouteux, et autres.

Et il serait nécessaire de prendre en compte toutes ces variations pour analyser les caractéristiques du sol qui influencent sa sensibilité face aux aléas climatiques.

Le cas est le même pour les mesures d'adaptation. Les présentes mesures sont celles qui ont été choisies parmi d'autres, en tenant compte des sources disponibles et de ce qui a déjà été réalisé au niveau de la Région.

Ces mesures sont holistiques et peuvent en découler d'autres qui pourraient également être efficaces dans l'adaptation des sols.

Par exemple, la mesure d'adaptation aux inondations par la gestion intégrée des eaux pluviales qui nécessiterait également d'établir une révision de l'aménagement du territoire, instaurer une assemblée locale pour la gestion d'eaux pluviales au niveau de la commune et d'autres mesures.

Cependant, ce travail reste évolutif et les résultats présentés seront la piste pour d'autres recherches plus exhaustives pour le projet.

L'évaluation critique de l'applicabilité des mesures d'adaptation proposées repose aussi principalement sur leur cohérence avec les politiques d'adaptation. Dans ce cas, étant donné que ces mesures sont en grande partie basées sur des méthodes environnementales déjà mises en œuvre en Région wallonne, il en résulte qu'elles peuvent effectivement être adaptées au plan d'adaptation au changement climatique. Cependant, il est important de noter les incertitudes liées aux projections climatiques futures ainsi que les conditions extrêmes pouvant être imprévisibles. Comme le recommande la PwG, il est nécessaire d'adopter une approche holistique qui faciliterait l'inclusivité en cas d'ajustement, en mettant en œuvre des mesures d'adaptation sur le long terme soumises à des révisions par intervalles [6]

Certains outils mentionnés dans les mesures, notamment l'outil de dimensionnement d'un ouvrage de rétention/infiltration permettant de calculer les volumes d'eau recueillis pour les dispositifs de gestion des eaux pluviales mis en place par le Groupe Transversal Inondations, présentent une utilité mais le fait que le changement climatique ne soit pas intégré dans l'outil (en attente d'étude) compromet pour l'instant son efficacité. Cela peut être le cas pour d'autres outils et il était important de spécifier des points d'attention pour certaines mesures.

3. Analyse des acquis du stage

Lien entre mes formations universitaires

Ce stage d'insertion professionnelle réalisé à l'ICEDD a considérablement enrichi mes connaissances académiques. La problématique environnementale à traiter s'accordait avec mes formations académiques. Durant mon précédent master en Géologie, j'ai pu acquérir des connaissances sur le travail de terrain, l'échantillonnage et l'interprétation de données géologiques. Ma spécialisation actuelle en Sciences et Gestion de l'Environnement et Développement Durable m'a équipé d'une formation interdisciplinaire liée à l'environnement. Ce stage, qui impliquait la problématique du sol en Région wallonne, fut l'occasion d'appliquer toutes ces connaissances acquises. Cela m'a permis d'avoir un aperçu de l'implication de ces connaissances en matière de la ressource sol selon les objectifs du développement durable. Ce sont des outils que je pense seront utiles pour la réalisation de projets liés à l'environnement, et plus précisément au sol ou à la géologie, dont j'aurai la charge d'effectuer.

Expérience dans un bureau d'étude

Cette expérience professionnelle dans un bureau d'études m'a offert l'opportunité d'apprendre la gestion de projet par les meilleures pratiques en matière de planification et de stratégie pour mener à bien un projet dans les délais impartis, tout en restant à l'affût d'autres opportunités. Me permettre d'assister aux réunions m'a également permis de comprendre l'organisation interne de l'institut et de suivre l'avancement des projets.

Le travail d'équipe

L'organisation de l'ICEDD repose également sur le partage de connaissances. La diversité des formations des membres garantit la qualité des travaux réalisés par l'équipe en charge du projet et le partage de documents de travail est encouragée. Cela permettant d'avoir à disposition toutes les ressources essentielles, tandis que la critique mutuelle, l'échange d'idées et d'opinions contribuent à un travail de qualité, et cela dans un environnement convivial. La disponibilité de mon maître de stage pour programmer des réunions me permettait également de répondre à ses attentes.

Les discussions avec mon répondant académique me permettaient de bénéficier de son expertise et ses conseils enrichissants, m'aider à avoir un plan à suivre pour aborder la problématique. La combinaison de tous ces éléments m'a servi de formation sur l'importance de l'esprit d'équipe dans le monde professionnel.

Développement d'autonomie

Travailler au sein d'un bureau d'études a été l'occasion d'apprendre à être autonome dans la réalisation des tâches, à pouvoir innover, élaborer un plan et proposer des solutions. L'ICEDD donne confiance non seulement à ses membres, mais également aux stagiaires qui en développent leurs connaissances. Cela était motivant et impliquant d'avoir une responsabilité tant dans le travail à effectuer que dans les délais à respecter.

Les soft skills

Des réunions de chercheurs étaient souvent organisées à l'ICEDD, ce qui m'a apporté d'autres connaissances professionnelles, notamment sur le questionnement de la place de l'intelligence artificielle dans le monde professionnel, comment élaborer un rapport de qualité, les liens entre la finance et l'environnement, et bien d'autres encore.

Contacts établis

L'ICEDD m'a également permis d'avoir contact avec divers fonctionnaires du Service public de Wallonie, des partenaires de l'ICEDD qui sont des organisations environnementales dans les secteurs public et privé ainsi que divers experts. Bien que l'agenda de certains ne m'aient pas permis d'obtenir des entretiens avec eux pour l'instant, j'ai pu rester en contact, et j'ai l'intention de discuter avec eux pour enrichir mes connaissances. La fin de ce stage ne constituant pas un frein pour continuer à apprendre.

4. Suggestions à l'institut d'accueil

Disposer des données pédologiques

La problématique des effets du changement climatique sur le sol représente un vaste sujet. Pour appréhender cette question de manière rigoureuse, il est impératif de disposer d'une base de données détaillées. Actuellement, les données climatiques de la Wallonie et les projections futures fournies par des organismes de recherche tels l'IRM et l'ECORES constituent une ressource importante pour les chercheurs en climatologie. Cependant, les informations disponibles concernant les sols wallons ne sont, de mon point de vue, pas aussi détaillées, que ce soit en ligne ou dans les documents institutionnels existants. Les documents disponibles se concentrent principalement sur les sols agricoles plutôt que sur une étude pédologique axée sur la diversité des types de sols présents dans la région.

Dans ce contexte, bien qu'un des partenaires du projet ait la charge de l'étude pédologique pour le projet de l'adaptation de la Région face aux CC, je recommanderais à l'institution, si possible, de posséder ces données avant de traiter la phase d'élaboration des mesures, surtout pour pouvoir localiser pour chaque commune selon les types de sols, l'exposition au risque et les mesures dont elles auront besoin.

En prenant en compte l'expertise de l'ICEDD et ayant vu la qualité de leurs travaux, je me permets de suggérer l'élaboration d'un document sur les sols qui serait utile à la Région wallonne, à la Belgique et également pour les projets du bureau qui aborderont le sol en particulier. Pour cela, je prends inspiration du document de R. Maréchal et R. Tavernier « Pédologie » de l'Atlas de Belgique, document qui date des années 70 mais dont les détails sont la preuve d'une étude appliquée sur la nature des sols. Il serait très utile d'en élaborer un de notre époque en prenant en compte les multiples facteurs contemporains qui sont maintenant liés au sol, notamment les sols dans les zones urbaines, la périurbanisation et tant d'autres qui influencent les sols.

Ajout d'un volet « géologique » dans le projet

Bien que ce stage traite la problématique du changement climatique sur les sols, je recommanderais de prendre en compte les formations géologiques liées au sol, un sujet que je constate qui manque dans les thématiques à traiter. Ces formations sont également sujettes aux aléas climatique dont les conséquences pourraient s'intensifier avec le changement climatique. Cela inclut les formations karstiques affectées par la dissolution, les glissements de terrain liés aux sols argileux, qui sont courants en Wallonie notamment dans la commune de Mont-de-l'Enclus, les effondrements de roches, ainsi que d'autres phénomènes. L'importance de rajouter un volet « géologique » ne concerne pas le sol uniquement mais également d'autres thématiques telles que l'hydrogéologie des nappes, la biodiversité, la stabilité des sols dans les villes, la résilience de l'industrie minière et autres thématiques qui y seraient liées.

Table des illustrations

Photos

<i>Photo 1. : Les plus beaux villages de Wallonie. https://beauxvillages.be/</i>	<i>1</i>
<i>Photo 2. : Un mur fissuré sous l'effet de RGA [41].</i>	<i>24</i>
<i>Photo 3. : Inondation de 2021 dans la province de Liège [46]</i>	<i>25</i>

Figures

<i>Figure 1. : Comparaison d'anomalies de température annuelle moyenne en surface par rapport à la période préindustrielle 1850-1900, globale (à gauche) et européenne (à droite) [8].</i>	<i>7</i>
<i>Figure 2. : Liens entre les caractéristiques, fonction écologiques et service écosystémique du sol [19].</i>	<i>9</i>
<i>Figure 3. : Conséquences du changement climatique sur les sols [19].</i>	<i>10</i>
<i>Figure 4. : Principaux types de sol dans la Région Wallonne [21].</i>	<i>11</i>
<i>Figure 5. : Température moyenne annuelle à Uccle sur la période 1833 – 2023 [22].</i>	<i>16</i>
<i>Figure 6. : Durée totale annuelle des vagues de chaleur à Uccle sur la période 1901 – 2019</i>	<i>17</i>
<i>Figure 7. : Quantité de précipitations annuelles à Uccle sur la période 1833 - 2023 [22].</i>	<i>17</i>
<i>Figure 8. : Nombre de jours annuels de forte précipitations (≥20mm) à Uccle sur la période 1892– 2019 [22].</i>	<i>18</i>
<i>Figure 9. : Chaîne d'impact de l'approche « Sécheresse édaphique ».</i>	<i>27</i>
<i>Figure 10. : Chaîne d'impact de l'approche « Inondations ».</i>	<i>28</i>
<i>Figure 11. : Chaîne d'impact de l'approche « Perte de la valeur agronomique ».</i>	<i>28</i>

Tableaux

<i>Tableau 1. : Tendances générales des projections climatiques futures en Wallonie</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 2. : Caractéristiques de la région Nord Sillon Sambre-et-Meuse</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 3. : Caractéristiques de la région du Condroz & Fagne-Famenne-Calestienne</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 4. : Caractéristiques de la région des Ardennes.</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 5. : Caractéristiques de la région du Haut Plateau des fagnes</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 6. : Caractéristiques de la région de la Lorraine Belge</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 7. : Caractéristiques des zones urbaines</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 8. : Mesure d'adaptation de l'approche « inondation »</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 9. : Mesure d'adaptation de l'approche « sécheresse »</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 10. : Mesure d'adaptation de l'approche « Pertes de la valeur agronomique »</i>	<i>30</i>

5. Liste des références bibliographiques

- [1] United Nations, «Climate Adaptation,» [En ligne]. Available: <https://www.un.org/en/climatechange/climate-adaptation#:~:text=Beyond%20doing%20everything%20we%20can,days%20or%20sea%20Dlevel%20rise>.
- [2] EU Commission, «Climate change continues,» *Knowledge for Policy*, 2023.
- [3] IPCC, «Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,» *Climate Change 2023: Synthesis Report*, pp. 35-115, 2022.
- [4] UNEP, «Climate Change Adaptation,» 2023. [En ligne]. Available: <https://www.unep.org/gef/focal-areas/climate-change-adaptation>.
- [5] CCNUCC, «Accord de Paris, document FCCC/CP/2015/L.9, Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques,» 2015.
- [6] P. Lamarque, P. Tondeur, B. Gaino et J. P. van Ypersele, «L'adaptation aux changements climatiques en Wallonie : synthèse et points d'attention pour,» 2022. [En ligne]. Available: www.pplateforme-wallonne-giec.be.
- [7] EEA, «Climate change impacts, risks and adaptation,» 2024. [En ligne]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/climate-change-impacts-risks-and-adaptation>.
- [8] EEA, «Global and European temperatures,» 2023. [En ligne]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/global-and-european-temperatures#:~:text=Global%20mean%20near%20surface%20temperature,depending%20on%20the%20dataset%20used..>
- [9] EEA, «What will the future bring when it comes to climate hazards? - Overview,» 2023. [En ligne]. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-changing-climate-hazards-1/what-will-the-future-bring>.
- [10] EU Commission, «Forging a climate-resilient Europe - the new EU Strategy on Adaptation to Climate,» *Communication from the commission of the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions*, 2021.
- [11] Climat.be, «Réchauffement planétaire,» 2019. [En ligne]. Available: <https://climat.be/changements-climatiques/changements-observees/rechauffement-planetaire>.

- [12] Commission National Climat, «Plan national d'adaptation pour la Belgique,» 2016. [En ligne]. Available: https://climat.be/doc/NC7_EN_LR.pdf.
- [13] A. H. Fitter, C. A. Gillican, K. Hollingworth, A. Kleczkowski, M., R. Twyman et J. W. Pitchford., «Biodiversity and ecosystem function in soil,» *functional Ecology*, 2005.
- [14] G. Gelybó, E. & F. C. Tóth, A. Horel, I. Kása et Z. Bakacsi, «Potential impacts of climate change on soil properties,» *Agrokémia és Talajtan*, vol. 67, pp. 121-141, 2018.
- [15] N. P. Qafoku, «Overview of different aspects of climate change effects on soils,» 2014.
- [16] N. P. Qafoku, «Chapter II Climate-Change Effects on Soils: Accelerated Weathering, Soil Carbon, and Elemental Cycling,» *Advance in Agronomy*, 2015.
- [17] E. Brevik, «The Potential Impact of Climate Change on Soil Properties and Processes and Corresponding Influence on Food Security,» *Agriculture*, vol. 3, pp. 398-417, 2013.
- [18] Hamidov, et al., «Impact of climate change adaptation options on soil function: a review of European case-studies,» *Land Degradation & Development*, 2018.
- [19] ADEME, I-CARE & Consult, «Sols et changement climatique: impacts et adaptation,» *Etats des Lieux de la recherche et identification de pistes de recherche*, p. 93, 2016.
- [20] N. Qafoku, «Chapter Two - Climate-Change Effects on Soils: Accelerated Weathering, Soil Carbon, and Elemental Cycling.,» 2015.
- [21] État de L'environnement wallon, «Principaux types de sols,» 2018. [En ligne]. Available: <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/PHYS%204.eew-sheet.html?thematic=175229fd-3ce4-444e-b569-1f2f6f034714>.
- [22] IRM, «Tendances observées à Uccle,» 2023. [En ligne]. Available: <https://www.meteo.be/fr/climat/changement-climatique-en-belgique/a-uccle/temperature-de-lair/moyenne/annuel>.
- [23] ECORES-TEC, «Région Wallonne-Etude adaptation au changement climatique,» *Rapport final*, 2011.
- [24] R. Marechal et R. Tavernier, «Pedologie,» 1974. [En ligne]. Available: https://www.atlas-belgique.be/atlas_papier/atlas1e/Atlas1-FR-11A-B.PDF.
- [25] État de L'environnement wallon, «Principaux types de sols,» 2018. [En ligne]. Available: <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/PHYS%204.eew-sheet.html?thematic=175229fd-3ce4-444e-b569-1f2f6f034714>.
- [26] État de l'environnement wallon, «Relief,» 2018. [En ligne]. Available: <https://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/PHYS%203.html>.

- [27] État de l'environnement wallon, «Érosion hydrique des sols,» 2022. [En ligne]. Available: <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/SOLS%203.html>.
- [28] État de l'environnement wallon, «Matière organique dans les sols agricoles,» 2020. [En ligne]. Available: <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/SOLS%202.html>.
- [29] J. Cholet et G. Magnon, *Tourbières des montagnes françaises: nouveaux éléments de connaissance, de réflexion & de gestion, P. tourbières, Éd., 2010, p. 187.*
- [30] Convention sur les zones humides, «Restaurer les tourbières drainées : une étapes nécessaire à la réalisation des objectofs climatiques mondiaux. Note d'orientation n° 5,» 2021, 2021.
- [31] BRGM, «Risques et aménagement du territoire : retrait-gonflement des argiles,» 2020. [En ligne]. Available: <https://www.brgm.fr/fr/actualite/dossier-thematique/risques-amenagement-territoire-retrait-gonflement-argiles#:~:text=Le%20retrait%2Dgonflement%20des%20argiles,ouvrir%20droit%20%C3%A0%20des%20indemnisations.&text=Couverture%20du%20dossier..>
- [32] État de l'environnement wallon, «Imperméabilisation des sols,» 2018. [En ligne]. Available: [http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/SOLS%20Focus%201.html#:~:text=Un%20taux%20d'imperm%C3%A9abilisation%20des,de%207%2C2%20%25%20en%20Wallonie&text=Ce%20taux%20variait%20cependant%20sensiblement,%25%20%C3%A0%2026%2C4%20%25\)..](http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/SOLS%20Focus%201.html#:~:text=Un%20taux%20d'imperm%C3%A9abilisation%20des,de%207%2C2%20%25%20en%20Wallonie&text=Ce%20taux%20variait%20cependant%20sensiblement,%25%20%C3%A0%2026%2C4%20%25)..)
- [33] S. Mittelberger, J. M. Soubeyroux et L. Batté, «La sécheresse 2022 en France : retour vers le futur,» *LHB*, 2024.
- [34] D. Rosillon, S. Dandrifosse, Y. Curnel et V. Planchon, «La sécheresse de 2022 en Wallonie en trois questions,» *CRA-W*, 2022.
- [35] P. Chéry, A. Lee, L. Commagnac, A.-L. Thomas-Chéry, S. Jalabert et M.-F. Slak, «Impact de l'artificialisation sur les ressources en sol et les milieux en France métropolitaine,» *Revue européenne degéographie*, 2014.
- [36] ELIA-UCLouvain, «Au pays des tourbières,» 2014. [En ligne]. Available: <https://sites.uclouvain.be/tourbiere/tourbiere/Accueil.html>.
- [37] A. Günther, A. Barthelmes, V. Huth et e. al., «Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions.,» *Nat Commun*, vol. 11, p. 1644, 2020.
- [38] R. Kumar, S. Tol, J. R. McInnes, M. Everard et A. A. Kulindwa, «Les zones humides pour la réduction des risques de catastrophe: des choix judicieux pour des communautés résilientes,» *Note d'orientation Ramsar no 1.*, 2017.

- [39] I. L. Ameur, «Analysis of climate change impacts on the shrinkage-swelling phenomenon of clayey soils to adapt infrastructures,» 2023.
- [40] CEREMA, «Phénomène de retrait-gonflement des sols argileux (RGA) : définitions, impacts sur les ouvrages et les personnes et solutions d’adaptation au changement climatique,» 2022. [En ligne]. Available: <https://www.cerema.fr/fr/actualites/phenomene-retrait-gonflement-sols-argileux-rga-definitions>.
- [41] CEREMA, «Maisons fissurées : réhydrater le sol pour faire face au retrait-gonflement des argiles,» 2024. [En ligne]. Available: <https://www.cerema.fr/fr/actualites/maisons-fissurees-rehydrater-sol-faire-face-au-retrait>.
- [42] SPW/EDIWALL, «Ma commune face aux inondations et coulées boueuses,» 2021. [En ligne]. Available: https://ediwall.wallonie.be/ma-commune-face-aux-inondations-et-coulees-boueuses-2021-numerique-085392?ref=085392_0.
- [43] SPW/EDIWALL, «Référentiel: Gestion durable des eaux de pluies,» 2023. [En ligne]. Available: <https://lampspw.wallonie.be/dgo4/tinymvc/apps/amenagement/views/documents/amenagement/regional/inondations/spw-referentiel-eaux-pluie-9-juin-2023.pdf>.
- [44] Service Public de Wallonie - GISER, «Bonnes pratiques pour la gestion du risque de ruissellement en zone rurale,» 2015. [En ligne]. Available: https://inondations.wallonie.be/files/documents_a_telecharger/GISER/GISER_ruissellement_techniques.pdf.
- [45] C. Collignon, «Inondations de juillet 2021 : bilan et perspectives, un an après le désastre,» 2024. [En ligne]. Available: <https://collignon.wallonie.be/home/presse--actualites/actualites/actualites/inondations-de-juillet-2021-bilan-et-perspectives-un-an-apres-le-desastre.html>.
- [46] Le Monde, 2021. [En ligne]. Available: https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/07/17/a-liege-apres-les-inondations-un-quartier-devaste-mais-solidaire_6088543_1652612.html.
- [47] Service public de Wallonie - GISER; «Coulées de boue,» 2013. [En ligne]. Available: <https://www.giser.be/2013/05/coulees-de-boue/#:~:text=En%20situation%20de%20crise%2C%20GISER,et%20conduire%20les%20eaux%20boueuses..>
- [48] Sol et déchets en Wallonie, «La perte de matière organique,» 2014. [En ligne]. Available: <https://sol.environnement.wallonie.be/home/documents.html>.
- [49] F. Vanwindekens, L. de Lamotte, L. Serteyn, E. Goidts, A. Doncel, C. Chartin, B. Hardy, V. Leclercq, H. Van Der Smissen et B. Huyghebaert, «Principes généraux pour maintenir - voir améliorer- le taux de matière organique dans les sols agricoles,» *Document d’orientation des agriculteurs et des agricultrices souhaitant souscrire à la MAEC-Sols en*, 2024.

- [50] État de l'Agriculture Wallone, «Régions agricoles de Wallonie,» 2023. [En ligne]. Available: https://etat-agriculture.wallonie.be/contents/indicatorsheets/EAW-A_l_d_2.html#:~:text=%2D%20La%20r%C3%A9gion%20limoneuse%20est%20la,des%20sols%20riches%20et%20fertiles..
- [51] Fédération des parcs naturels de Wallonie, «Parc naturel de la Vallée de l'Attert,» [En ligne]. Available: <https://parcsnaturelsdewallonie.be/parcs/attert/>.
- [52] Fédération des parcs naturels de Wallonie, «Parc naturel de l'Ardenne méridionale,» [En ligne]. Available: <https://parcsnaturelsdewallonie.be/parcs/ardenne-meridionale/>.

6. Annexes

Référez au document annexe