

---

## Mémoire de fin d'études : "La région calcaire face aux inondations et aux sécheresses-K

**Auteur** : Herman, Stanislas

**Promoteur(s)** : Barcelloni Corte, Martina

**Faculté** : Faculté d'Architecture

**Diplôme** : Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

**Année académique** : 2022-2023

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/16640>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

Vers un Projet Résilient pour les  
Régions Calcaires  
**Karst**



## Remerciements

Je tiens à remercier les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail de fin d'études, que ce soit par leur écoute, leur compréhension ou encore leurs corrections et critiques constructives.

Plus particulièrement, je remercie ma promotrice, madame Martina Barceloni Corte, de m'avoir suivi et encadré durant ce travail d'une année. Je remercie personnellement mon binôme, Joseph Dushimimana, sans lequel je ne me serais pas intéressé à un tel sujet.

Ce travail a été possible grâce aux éclaircissements apportés par madame Aurore Degré, monsieur Alain Dassargues en leurs qualités d'experts. Merci à eux pour leurs échanges sur la nature complexe des sols et des dynamiques particulières de ruissellements, ces notions fondamentales à la compréhension du territoire et de son aménagement.

Enfin, je tiens à remercier les habitants de la région du bassin versant de la Vesdre qui ont permis d'apporter un niveau de compréhension supplémentaire dans ce travail sur les réalités in situ. Ce qui m'a permis d'articuler la théorie à la réalité de terrain.

**Cadre 8**

<i>Genèse du travail</i>	8
<i>Inondations de juillet 2021</i>	9
Récurrence des inondations	9
<i>Les changements climatiques et l'eau</i>	10
<i>La gestion des inondations / méthodes de rétentions d'eau</i>	13
<i>Question de recherche</i>	19
<i>Méthodologie</i>	20
Immersion	20
Description	21
Projet	21
Limites et perspectives	22

**Description 27**

<i>Le bassin versant de la Vesdre</i>	27
<i>Les différents types de roches</i>	32
<i>Ruissellement en région calcaire</i>	33
<i>Les phénomènes karstiques en Wallonie</i>	35
<i>Les phénomènes karstiques sur le bassin versant de la Vesdre</i>	36
<i>Les pertes</i>	36
<i>Les dolines</i>	37
<i>Les résurgences</i>	37
<i>Le phénomène de vallée sèche</i>	38
<i>Le phénomène de reprise de bassin versant</i>	38
<i>Le phénomène de coup d'eau</i>	39
<i>Habiter en zone karstique</i>	40
<i>Choix du cadre de recherche</i>	45

## **Projet 51**

<i>Vers un projet de territoire</i>	51
Cas d'analyse 1 : Vallée sèche de Hèvremont	51
Description	51
Stratégies	69
Cas d'analyse 2 : Vallée sèche de Heusy	77
Description	77
Stratégies	97
<i>Interview des experts et perspectives d'avenir</i>	104

## **Conclusion 113**

## **Glossaire 121**

## **Références 127**

<i>Référence bibliographique</i>	127
Ouvrages divers	127
Sites internet	131
Conférences et Entretiens	133
<i>Table des illustrations</i>	135





**Cadre**

## Genèse du travail

Ce travail de recherche suit un projet amorcé en fin de master et qui portait également sur le bassin versant de la Vesdre. Pour reprendre les mots des enseignants en charge de la filière.

*En lien avec les inondations de juillet 2021, l'atelier de Q4 propose de prendre pour objet d'étude le « bassin versant » de la Vesdre, afin d'en identifier enjeux, potentiels et paradoxes. L'impact et la fréquence des événements plus récents liés au changement climatique remettent — aujourd'hui — profondément en question notre façon d'habiter le territoire, notamment ses parties plus exposées aux aléas comme, par exemple, les fonds des vallées. En s'appuyant sur l'hypothèse de « vallée solidaire » impliquant la nécessité d'une nouvelle solidarité entre ses différentes parties (plateaux — versants - fond de vallée/amont et aval), l'atelier réfléchit à un nouveau « projet de territoire » (à différentes échelles) capable de se positionner par rapport aux défis qui traversent l'anthropocène.*

*L'atelier vise à approfondir les liens entre connaissance du territoire et projet, en renforçant les appuis sur différentes disciplines (écologie, hydrologie, anthropologie, climatologie...), et en s'attachant à des situations très concrètes qui conduiront à travailler à plusieurs échelles (potentiellement jusqu'au 1/1). Les hypothèses de l'atelier seront nourries par le croisement de différents expertises et modes d'investigation sur le terrain, au plus proche des réalités matérielles, humaines et non humaines... (Barcellona Corte & Possoz, 2022).*

Joseph Dushimirimana et moi-même, avons pu en binôme aborder ce vaste territoire sous le rapport, aux dynamiques souterraines à la géologie, aux phénomènes géologiques naturels (phénomène karstique) ainsi qu'aux phénomènes liés à l'exploitation du territoire par l'homme (ex. : carrières, puits de mine). Le projet développé suite à cette lecture du territoire s'est axé sur un transect reprenant les plateaux de la région de Welkenraedt, du lac de la Gileppe et des Hautes Fagnes en passant par la région de Limbourg. Différentes stratégies territoriales, en adéquation avec ce contexte particulier et ses dynamiques souterraines, ont été émises afin de limiter l'impact des inondations et des sécheresses, tout en ayant un apport aux activités humaines locales.

Le travail de recherche développé dans ce travail de fin d'études suit la démarche initiée par notre binôme et va chercher à étoffer l'étude sur la zone projetée et les différentes solutions envisageables. Pour ce faire, nous avons sélectionné deux cas d'études, le premier en zone agricole et le second en zone urbaine. Bien que le premier axe de recherche soit l'hydrologie, nous étudions également des sujets comme la symbolique, la pédagogie des aménagements ou encore la protection de la biodiversité.

## Inondations de juillet 2021

En juillet 2021, de très fortes intempéries ont frappé la Belgique, et d'autres pays limitrophes (l'Allemagne et les Pays-Bas), et ont causé la mort de plus de 200 personnes. Un grand nombre de personnes ont également dû quitter leurs habitations à la suite des dégâts engendrés par ces inondations. (Kreienkamp, et al., 2021).

Dans les Ardennes belges, des taux de précipitations très élevés ont été mesurés. Les précipitations cumulées, entre le 14 et 15 juillet, ont, par exemple, atteint 271,5 mm d'eau/m<sup>2</sup> à Jalhay (217,1 mm à Spa ; 192,4 mm à Mont-Rigi et 189 mm à Neu-Hattlich) (Fettweis, 2022).

Depuis lors, une recherche des causes a été lancée pour éviter de nouvelles conséquences aussi importantes. Pour certaines personnes, la gestion des barrages en amont en est une cause, ces derniers n'ayant pas pu retenir les eaux tombées sur les différentes vallées. Pour d'autres, la mauvaise gestion du territoire et l'imperméabilisation des sols liée aux activités humaines peuvent être incriminées. Cependant, il est important d'observer les causes dans leur ensemble. On dira que c'est la résultante des différentes hypothèses émises qui a donné de telles ampleurs à ces événements (Fettweis, 2022).

## Récurrence des inondations

Aujourd'hui, la population mondiale prend de plus en plus conscience des changements occasionnés par le réchauffement climatique. Les perturbations du climat touchent, en effet, de plus en plus nos régions et ne sont plus seulement observées sous ses formes extrêmes dans de lointains pays.

Nous pouvons ainsi lire dans la seconde partie du Rapport du GIEC de 2022 :

*« The intensity and frequency of heavy rainfall events is projected to increase (high confidence) (Figure 13.3; Ranasinghe et al., 2021). Combined with increasing urbanisation, the risk of pluvial flooding is projected to increase (Westra et al., 2014; Rosenzweig et al., 2018; Papalexiou and Montanari, 2019). Small catchments, steep river channels and cities are particularly vulnerable due to large areas of impermeable surfaces where water cannot penetrate (Section 13.6) » (Bednar-Friedl, et al., 2022, pp. 1827-1828)*

Les experts s'accordent à dire que des événements comme les inondations de 2021 se reproduiront de plus en plus fréquemment et ne seront plus seulement des désastres nous affectant tous les 100 ou 200 ans. C'est pour cette raison que nous devons réfléchir à comment vivre avec ces changements et quelles solutions permettraient de limiter les impacts et dégâts qu'ils peuvent occasionner.

Lors d'une interview pour le « Ministères Écologie Énergie Territoires », Virginie Duvat-Magnan (une des autrices principales du 6e rapport du GIEC) soulignait que :

« L'enjeu, auquel on fait face au cours de ce siècle, est de construire de manière anticipée des trajectoires d'adaptation au changement climatique qui permettent de penser pour chaque territoire, une combinaison de solutions, adaptées, complémentaires, et qui devront être évolutives dans le temps, au fur et à mesure que les impacts du changement climatique vont s'aggraver. » (Duvat-Magnan, 2022)

## Les changements climatiques et l'eau

Comme l'explique Madame Duvat-Magnan, l'un des grands enjeux de notre époque est l'adaptation du territoire aux changements climatiques. Pour partir sur de bonnes bases, il faut donc comprendre les phénomènes auxquels nous devons nous adapter, mais également ce qu'est vivre de façon résiliente.

Le premier point à clarifier est donc : **la résilience**. Ce terme est très souvent employé à l'heure actuelle, mais concrètement que signifie-t-il ?

En physique, cela représente une valeur caractérisant la résistance à un choc d'un matériau. C'est plus précisément la capacité d'un matériau à

revenir à son état d'origine après un certain effort.

Dans notre contexte, nous pouvons dire que la résilience est la capacité à faire face à des expériences difficiles, stressantes et d'en sortir renforcé, d'acquérir de nouveaux apprentissages. Cela mène à l'adaptation au nouveau paradigme (Vanistendael, 2005). Actuellement, la résilience est souvent rapportée aux humains ou aux communautés, mais elle peut être également transposée à d'autres concepts, comme celui du territoire.

Le second point qui doit maintenant être abordé est celui des risques, phénomènes et enjeux auxquels nous devons faire face. Le 6e rapport du GIEC est, pour cela, une ressource précieuse. Il synthétise les connaissances scientifiques actuelles sur le sujet du réchauffement climatique et de ses impacts. Afin d'objectiver son approche, il fournit par ailleurs un indice de confiance sur la probabilité que surviennent les enjeux.

Les changements climatiques anthropiques, c'est-à-dire les changements climatiques liés à l'activité humaine, ont trois grandes conséquences :

- L'augmentation des pénuries d'eau
- L'augmentation des événements extrêmes
- L'augmentation des vulnérabilités socio-économiques

(b) Observed impacts of climate change on human systems

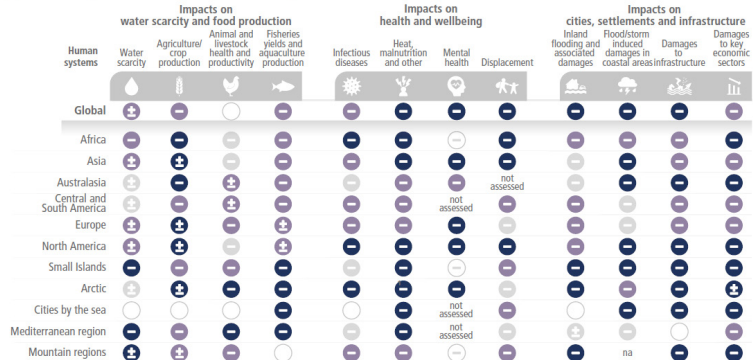


Fig. 1 : Observed impacts of climate change on human systems

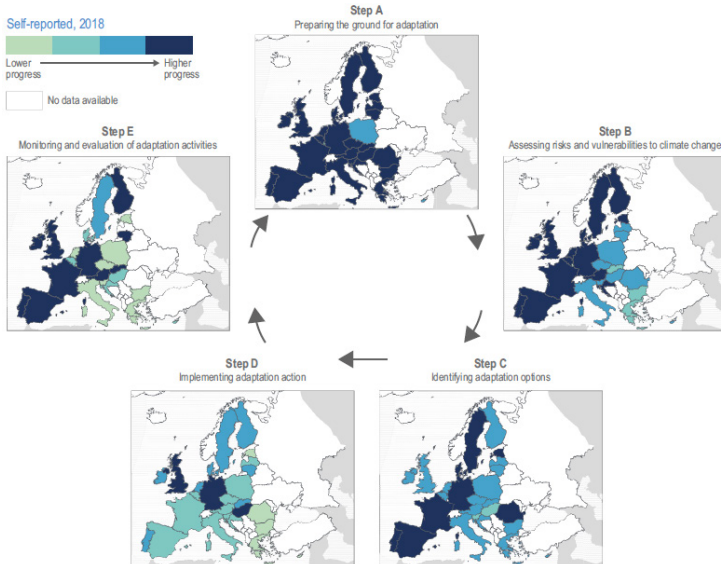
Partout dans le monde, le schéma habituel de précipitations varie. Des périodes de sécheresses ou, à l'inverse, des pluies de plus grande intensité favorisant les cas d'inondations augmentent. Ainsi, plus de la moitié de la population mondiale connaît des pénuries d'eau pendant au moins 1 mois par an. Cette insécurité de l'accès à l'eau est accentuée par des

événements extrêmes plus fréquents, mais également, par une gouvernance inadéquate de cette ressource dans de nombreux pays.

Il est par ailleurs soulevé dans le rapport, que les conséquences sociétales d'inondations et de sécheresses sont accentuées par des vulnérabilités sous-jacentes (plus observées dans les pays pauvre) (Caretta, et al., 2022).

En Europe, la majorité des inondations sont dues à des pluies intenses et des crues soudaines. Entre 1860 et 2016, les crues éclairées représentaient 56% des cas d'inondations (Paprotny, Sebastian, Morales-Nápoles, & Jonkman, 2018). Ces dernières ont eu un impact considérable, à la fois au niveau du bilan humain, mais également au point de vue économique. Par exemple, les dommages économiques liés aux inondations de Copenhague en 2011 se sont élevés à 1 milliard de dollars (Wójcik, et al., 2013).

Progress of National Adaptation in Europe



Status of National Adaptation Strategies and Plans

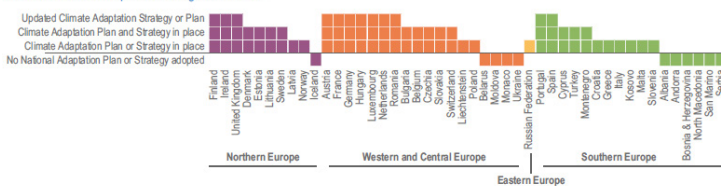


Fig. 2 : Progress of National Adaption In Europe

Dans le cas des inondations de Munster en 2014, à la suite d'évènements de crues, les dégâts ont pu être chiffrés à 70 millions d'euros (Spekkers, Rözer, Thieken, ten Veldhuis, & Kreibich, 2017).

Nous devons garder à l'esprit que l'intensité, mais également la fréquence des inondations devrait augmenter à l'avenir et que l'urbanisation croissante (avec leurs surfaces imperméabilisées) n'améliorera pas la situation. Les espaces particulièrement vulnérables sont les petits bassins versants, les canaux fluviaux escarpés et les villes, en raison de l'importance des surfaces imperméabilisées ou du faible degré d'absorption des sols. Il faut donc revoir notre façon de penser les espaces et notre utilisation du territoire dans nos régions, en nous questionnant sur la manière d'habiter les territoires, plus en adéquation avec le nouveau paradigme climatique.

## La gestion des inondations / méthodes de rétentions d'eau

L'Homme a déjà eu l'occasion de faire face à de tels phénomènes naturels et a toujours cherché à s'en prémunir, soit en contrôlant la montée des eaux au travers de moyens techniques de plus en plus innovants ou d'importants ouvrages d'ingénierie, soit en habitant en zones non inondables. Les avancées sur la mer aux Pays-Bas, d'ailleurs reconnus pour leurs connaissances de la gestion des flux d'eau, illustrent cette position.

Environ deux tiers du territoire des Pays-Bas sont, en effet, vulnérables aux inondations ou aux submersions par les flots marins. La maîtrise des eaux est donc d'une importance capitale pour ses habitants. Ces derniers ont ainsi modifié leur habitat au moyen de nivellements, de constructions de remblais ou de digues, mais également, au travers du tracé de canaux ou de lacs pouvant reprendre les eaux excédentaires ou dévier les flux. Au fil du temps, ils ont pu affiner leurs techniques et développer de nouvelles technologies qui ont permis d'imposer une certaine topographie qui aurait été bien différente sans l'intervention humaine (Bauduceau, et al., 2014).

Actuellement se pose la question de la limite de ce type de solutions. La montée du niveau de la mer implique de devoir augmenter la hauteur des digues. Mais, continuer dans cette direction semble être une voie sans issue ne permettant pas de protéger complètement la population vivant dans les zones en danger. C'est pourquoi des réflexions autour

de méthodes fonctionnant plus en adéquation avec l'eau sont en train d'être cherchées et expérimentées.

De nos jours, il existe également des plans établis pour réduire les conséquences des inondations, ou en tout cas, montrant les outils aux mains des pouvoirs publics pour prévenir et gérer les inondations. En Belgique, la circulaire Borsus vise, par exemple, la délivrance des permis de bâtir dans les zones exposées à des inondations et à la lutte contre l'imperméabilisation des espaces. Le tout pour

*« ... anticiper autant que faire se peut le risque d'inondation susceptible d'impacter un projet d'aménagement du territoire ou d'urbanisme, afin de limiter les dommages pour les personnes, l'environnement ainsi que les biens existants et à construire. » ( Service public de Wallonie, 2022, p. 5)*

Avant cette circulaire, d'autres moyens avaient déjà pu être mis en place. La CPDT (Conférence Permanente du Développement Territorial) a ainsi été chargée de travailler sur le ruissellement des eaux en milieux urbains. De ce travail sont sortis différents types d'aménagements pouvant être mis en place en zones urbanisées :

- Citernes d'eau de pluie
- Rétention de l'eau au niveau des toitures
- Tranchées drainantes et noues
- Puits d'infiltrations
- Chaussées à structure réservoirs et revêtements perméables
- Bassins de retenue
- ...

Comme cette étude se concentre sur les milieux urbains, la conférence d'Aurore Degré sur les considérations hydrogéologique en 2022 et celle de Marc Dufrêne (Restaurer la biodiversité ordinaire pour améliorer la résilience face au changement globaux) offrent un complément bien-venu en ce qui concerne les milieux ruraux. Elles évoquent d'autres méthodes à utiliser dans ce type de milieux, mais également des usages différents du sol permettant une gestion du territoire plus en adéquation avec l'eau.

- Bandes et Cheneaux enherbés
- Haie et Fascine
- Fossé à redents et Fossé talus haïs
- Cultures en rapport aux courbes de niveau
- Rebouchage des drains
- Décompactages des sols
- Reconstruction des zones humides
- Élargissement du lit majeur
- Reméandrifcation
- ...

Les différentes méthodes évoquées ci-dessus sont appelées techniques « compensatoires » de gestion des eaux pluviales. Elles permettent, en partie, de ralentir le ruissellement des eaux par la percolation dans le sol et/ou par la rétention d'une partie des eaux de pluie. Toutes ces méthodes ne peuvent cependant pas s'appliquer directement à chaque territoire (Alfakih, Azzout, Barfaut, & Chocat, 1995).

Tout d'abord, l'impact urbanistique peut varier fortement. Par exemple, l'impact sur le paysage de citernes d'eau de pluie est assez faible en comparaison de travaux de plus grande ampleur comme les bassins de rétentions ou les toitures réservoirs. Ces dernières stratégies nécessitent un travail d'intégration plus important, mais offrent aussi la possibilité de construire un projet de territoire en soi, de pouvoir offrir des espaces publics valorisés par la présence de l'eau (Boniver, et al., 2005) (Comp-sante Urbaine, 2014).

Une autre grande différence consiste en la façon dont les techniques « compensatoires » influencent le ruissellement. Certaines consistent en une simple rétention de l'eau, qui sera ensuite utilisé ou relâchée lorsque la période de crue sera passée, lui laissant suivre son ruissellement naturel. D'autres vont favoriser l'infiltration des eaux dans les sols. Dès lors qu'il est question de percolation, il est nécessaire de faire une étude approfondie des couches géologiques dans lesquelles vient s'infiltrer l'eau. Cela aura pour objectif de limiter les risques de pollution ou encore la saturation de couches superficielles du sol (Alfakih, Azzout, Barfaut, & Chocat, 1995).

En outre, l'infiltration des eaux de pluie n'est pas toujours recommandée, soit en raison de possibles pollutions, soit pour des raisons techniques comme le niveau de perméabilité, les risques d'effondrement... Un substrat imperméable, comme les argiles, ou une nappe phréatique en surface, empêchent, par exemple, la percolation. Physiquement, ces sols

n'ont pas la capacité d'absorber l'eau et risquent donc de refouler l'eau vers la surface. Les risques d'effondrements sont, quant à eux, plutôt à observer en région calcaire à la suite de la dégradation des roches par l'eau. En ce qui concerne la pollution, elle doit surtout être prise en considération dans des zones sensibles (zones de captages de nappes, sous-sol calcaire...) (Boniver, et al., 2005).

Ces éléments nous montrent l'importance-même pour l'architecte ou l'urbaniste d'appréhender la situation dans laquelle il/elle se trouve, cela afin de proposer des stratégies adéquates aux caractéristiques et problèmes rencontrés (nature du projet, objectif, les caractéristiques du sol, les coûts ...).

Au niveau du projet de territoire, la gestion des inondations ne doit cependant pas se faire uniquement par le dessin de nouveaux espaces/paysage. Elle doit aussi passer à travers une modification du comportement à avoir lors de ces événements. Les plans d'urbanisations doivent remettre en question la possibilité de construire en zones inondables (surtout en zone d'aléas fort). Bien qu'une partie de nos villes soit construite sur de telles zones, cela ne légitime pas pour autant de continuer à urbaniser de tels espaces. Il faut prendre conscience de notre comportement face aux territoires et aux phénomènes naturels (plus ou moins visibles) qui s'y développent.

Un autre point à questionner est l'utilisation du sol par l'agriculture. Le ruissellement peut être grandement influencé par les méthodes de culture utilisées, comme, par exemple, par la construction de drains afin de rendre le terrain suffisamment sec pour la culture de céréales ou des épiceas dans les Hautes Fagnes. L'établissement de ces drains joue sur l'accélération du ruissellement naturel en limitant l'infiltration de l'eau dans le sol, mais également sur la disparition de zones humides (Dufrêne, 2022).

Les relations entre des milieux particuliers et l'eau ne sont pas seulement du ressort des phénomènes karstiques. Bien que ce travail s'intéresse particulièrement au karst, il est à noter l'influence des zones humides sur l'écoulement du réseau hydrique. En effet, les zones humides vont avoir un impact sur le temps de retour des inondations. En quelques mots, le temps de retour est la période entre le début des précipitations et l'augmentation du débit du cours d'eau situé en aval. Il a été observé que sur des bassins versants ayant peu de zones humides, le pic de crue, lors d'inondations, arrive rapidement après les précipitations et que l'intensité de ces crues était plus importante. À l'inverse, la présence de

nombreuses zones humides permet d'étaler le pic de crue dans le temps et de diminuer le débit des cours d'eau lors du pic. Leur rôle d'espaces tampons lors d'épisodes de fortes pluies est important. La préservation de ses espaces est donc primordiale (Acreman & Holden, 2013).



## Question de recherche

Le TFE a pour objectif **d’interroger le rôle du projet d’architecture et d’urbanisme par rapport aux phénomènes karstiques, lors des phénomènes d’inondation et de sécheresse**. Il a pour cadre de recherche le bassin versant de la Vesdre, se concentrant plus particulièrement sur les phénomènes karstiques pouvant être observés dans la région calcaire de Verviers (à Heusy et Hèvremont).

La question suivante guide nos réflexions :

« Quel est le rôle du projet par rapport aux phénomènes karstiques lors des inondations sur le bassin versant de la Vesdre ? »

Cette question induit un questionnement sur les ruissellements se développant en région calcaire, et soulève également une recherche sur la façon d’habiter le territoire étudié.

La seconde question qui en découle est donc :

« Comment habiter les régions karstiques de façon résiliente ? »

L’objectif est de trouver une manière de vivre en adéquation avec les caractéristiques hydrogéomorphologiques du terrain et de construire, habiter le lieu en fonction des usages et besoins de l’anthropocène.

Il existe une multitude de façons de s’adapter au changement climatique et de mener une politique pour atténuer le risque. Comme évoqué précédemment, les Pays-Bas misent sur un seuil de protection élevé (un système complexe de digue, de rétentions et de pompage des eaux) et sur une coresponsabilisation de leur population face aux risques d’inondations. En France, il est plutôt question d’une réglementation rigoureuse et d’un principe de solidarité nationale. Au Japon, les politiques misent sur l’éducation des populations et sur la création d’espaces refuges afin de mettre rapidement les habitants en sûreté (Bauduceau, et al., 2014).

Toutes ces politiques du territoire ont leurs avantages et inconvénients. Dans ce travail, il est donc question d’ouvrir la réflexion sur les pistes d’adaptations aux changements climatiques (Bauduceau, et al., 2014).

## Méthodologie

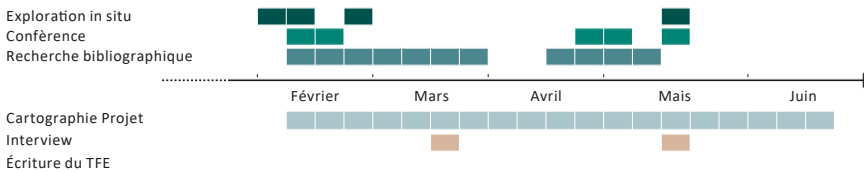
### Immersion

Comme expliqué plus tôt, ce travail de recherche a été amorcé début d'année 2022.

La première grande étape, destinée à comprendre directement certaines caractéristiques et problématiques du territoire, a été l'« immersion » par la marche dans la région du bassin versant de la Vesdre. Cette immersion a été menée lors d'une exploration in situ de deux jours, avec le groupe d'étudiants et de professeurs de l'atelier « Territoire, Espace, Lieu. Habiter le Territoire 2 ». L'itinéraire suivi a permis de retracer le parcours de l'eau, en passant par les crêtes du bassin versant, les Hautes Fagnes et différents points stratégiques de la Vesdre, comme le barrage d'Eupen, ou encore, les villes de Pepinster, Verviers, Limbourg et Eupen.

Cette compréhension à travers l'observation du territoire s'est accompagnée de la rencontre de diverses personnes-ressources des communes visitées. Les discussions et explications obtenues ont permis d'apporter une seconde couche d'informations permettant d'approfondir l'approche et de déployer le deuxième outil de la méthodologie : l'entretien. Ils ont également permis d'approfondir les problématiques liées aux inondations, mais aussi les stratégies qui commençaient à être mises en place.

Fig. 3 : Planning de réalisation du TFE





réalisé afin de clarifier le cadre et le contexte du projet. Cette description reprend la typomorphologie du terrain, les aléas d'inondations et le ruissellement présent sur site, les risques karstiques, mais également les systèmes géologiques, le PASH (Plan d'Assainissement par sous-bassin Hydrographique) et le plan de secteur. Par après, des stratégies territoriales sont proposées pour chaque focus ; ces derniers répondant aux enjeux propres de chaque site. Ces stratégies sont un recoupement des connaissances apprises. Elles proviennent d'ouvrages, de conférences ou encore d'exemples déjà réalisés ou en projet, montrant des solutions spatiales et paysagères souhaitables. Ces stratégies sont transposées et adaptées à chaque focus. Les différentes propositions sont présentées sous la forme de cartographies, de coupes permettant de situer et d'explicitier chaque intervention. Elles sont par après regroupées dans un tableau permettant de résumer quel type de stratégies est choisi en fonction du milieu et des types de sols présents, des objectifs par rapport aux inondations et des moyens employés pour les réaliser.

## Limites et perspectives

La dernière étape de ce travail consiste en un questionnement des solutions envisagées, sous deux angles d'approche. La première approche est un questionnement autour des impacts des stratégies employées. Cette partie est objectivée avec la rencontre d'experts afin d'avoir un regard extérieur sur les stratégies envisagées. L'échange se fait au travers d'un entretien étudiant le projet proposé et d'une discussion ouverte sur les changements climatiques, les inondations ou encore la région calcaire.

La seconde approche consiste en une réflexion ouverte sur la façon d'habiter ces territoires et les perspectives d'avenir pour ceux-ci (que ce soit au travers d'habitats ruraux ou plus urbains, mais aussi au travers de l'exploitation des sols dans cette région). Ce questionnement sur la pertinence des stratégies envisagées regroupe toutes les parties du travail, les lectures et divers outils d'informations utilisés, comme l'expérience in situ ou encore les divers entretiens.

Ce dernier point permet de mener à la conclusion de ce travail.







# Description



## Le bassin versant de la Vesdre

Le bassin versant de la Vesdre couvre près de 700 km<sup>2</sup> en Région wallonne et regroupe 27 communes. La Vesdre prend sa source dans les Hautes Fagnes, et plus précisément dans les landes marécageuses de la région d'Eupen (à +/- 605 m d'altitudes). Elle suit son cours jusqu'à Chénée où elle se jette dans l'Ourthe, après un parcours de 72,5 km et 535 mètres de dénivelé (embouchure avec l'Ourthe à 70 mètres d'altitude). La Vesdre est qualifiée de rivière torrentielle, en fonction de son dénivelé important, présentant une pente moyenne de 0,73% (Contrat de Rivière Vesdre, 2022).

La Vesdre n'est évidemment pas le seul cours d'eau sur ce territoire, près de 200 affluents l'alimentant et couvrant une distance de 1417 km (Ibid.).

Les deux versants de la Vesdre diffèrent. Le versant Nord est fortement caractérisé par les grandes zones bocagères du plateau de Herve, alors que le versant Sud reprend, quant à lui, les Hautes Fagnes, plutôt axées sur la sylviculture des épicéas et les tourbières.

Ce bassin versant est également connu pour son fort développement industriel dans différentes villes longeant la Vesdre (Chaufontaine, Trooz, Pepinster, Verviers, Limbourg, Eupen). Deux grandes périodes d'urbanisation ont marqué la région. La première prend cours à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, lors de l'essor de la période industrielle du bassin. La seconde correspond à la phase de reconstruction d'après-guerre et surtout, à la périurbanisation des années 70-80 (Privot, 2022).

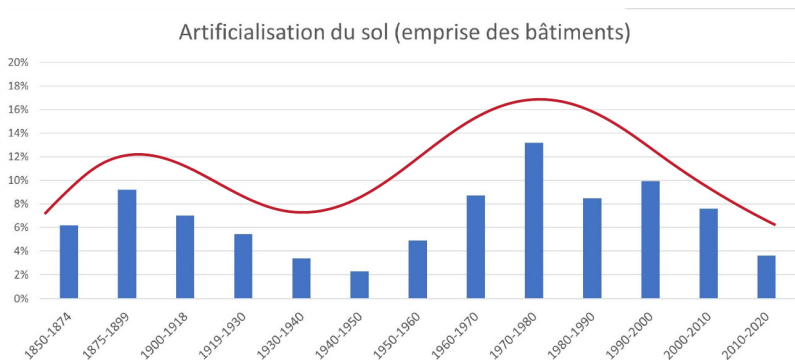


Fig. 4 : Artificialisation du sol du bassin versant de la Vesdre

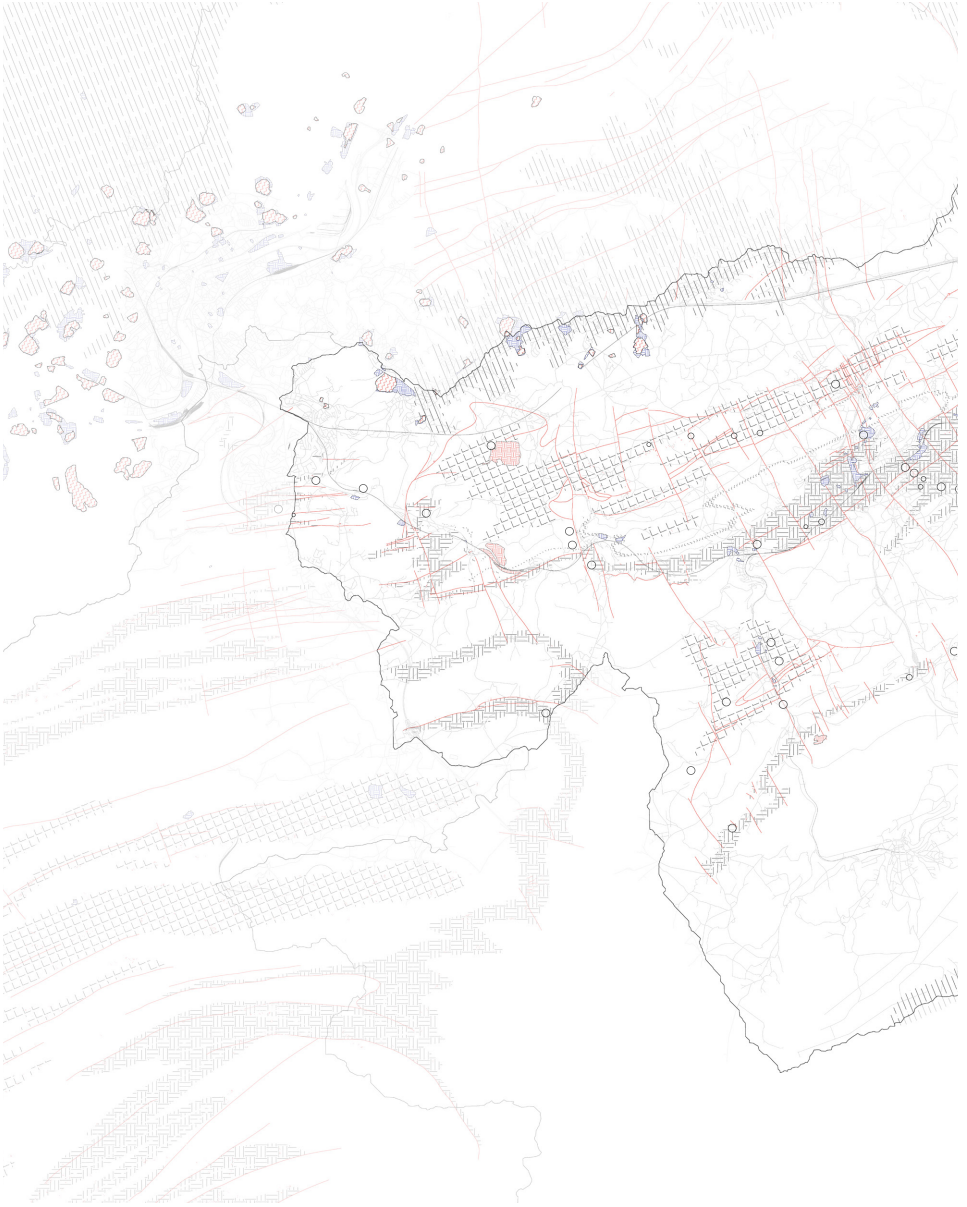
Un autre point important à relever est la part d'espaces construits du bassin versant. Le bâti occupe plus ou moins 10 % de sa surface totale. Les enjeux des inondations se jouent fortement en dehors des espaces urbains, qu'il faut bien sûr prendre en considération (Ibid.).

Une part importante de la région de la Vesdre est liée à l'extraction des ressources souterraines. Les exploitations minières du bassin versant sont réparties en deux groupes. Le premier comprend les charbonnages produisant de la houille, situés au nord-ouest du bassin versant. Le second comprend les exploitations de minerais métalliques comme le fer, le plomb, le zinc... Ceux-ci se retrouvent principalement au nord-est du bassin versant. Outre les types d'exploitations que l'on peut retrouver sur ce territoire, il est important de cerner leurs méthodes d'exploitations.

On parle de minière lorsque l'exploitation se fait en surface, de mine lorsqu'elle est souterraine. Les méthodes d'extractions employées sur chaque concession dépendent de la profondeur des différents gisements. En ce qui concerne les charbonnages, la houille étant située dans des couches géologiques basses, l'exploitation s'est faite sous forme de mines. Pour ce qui est de l'extraction de divers métaux, la technique privilégiée a été celle des minières car les couches d'extraction des métaux se trouvaient assez proches de la surface. Il a été cependant observé l'installation de mines et de puits de mines, permettant d'atteindre d'autres gisements plus profondément enfouis (Denayer, Pacyna, & Boulvain, 2011).

Actuellement, un grand nombre de ces exploitations ne sont plus en fonction, mais elles ont laissé un certain nombre de traces. Comme évoqué précédemment, on peut observer les terrils qui marquent le paysage, mais également des traces souterraines comme par exemple certains réseaux de galeries. Celles-ci influencent fortement les écoulements et ruissellements souterrains et donc aussi l'habitat en surface. Dans la région, le passé extractiviste du bassin versant est représenté par les carrières calcaires, les différentes mines, mais également par la toponomie des rues, comme pour la rue de la Briqueterie, par exemple. En cherchant un peu plus loin, on peut souvent retrouver des traces des dépressions remblayées, signe d'anciens lieux d'excavation qui se sont intégrés dans le paysage régional au fil du temps. Le paysage d'aujourd'hui est directement issu du sol, des roches et des matières premières qui ont pu y être collectées pour construire et habiter ce bassin versant.





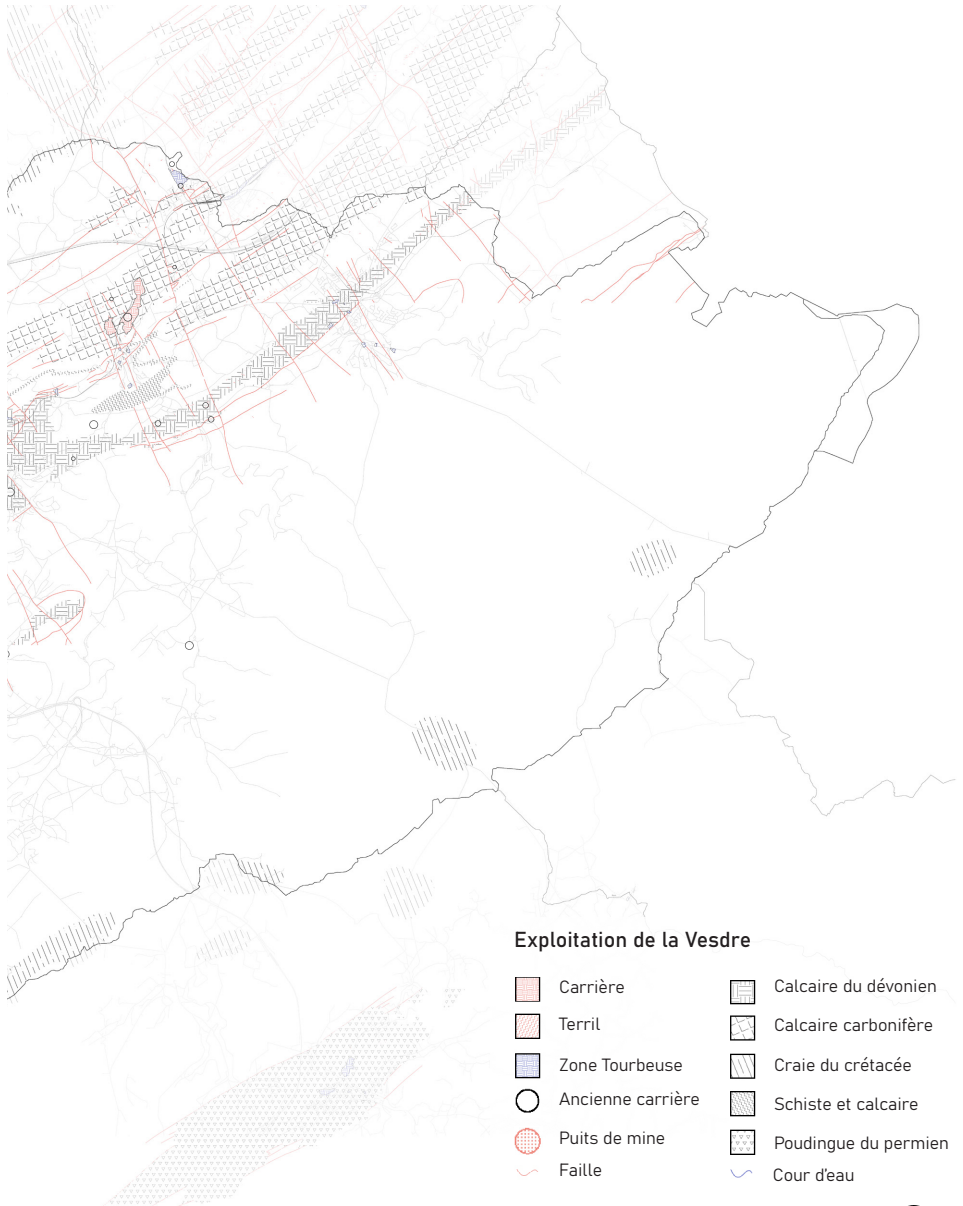


Fig. 5 : Exploitation et types de sol du bassin versant de la Vesdre



## Les différents types de roches

Comme expliqué précédemment, le bassin versant de la Vesdre est parcouru de bandes de roches calcaires. D'autres formations géologiques peuvent également y être observées et créent cette diversité parfois visible sur le territoire. Ce sont ces roches et ces minerais qui ont induit toute une partie du développement économique de la vallée de la Vesdre. La géologie est donc un point clef à prendre en compte pour cerner le bassin versant de la Vesdre (Denayer, Pacyna, & Boulvain, 2011).

Les principales roches composant le sous-sol du bassin versant sont les roches calcaires, les grès et les schistes. Ces trois types de roches sont dits sédimentaires, c'est-à-dire qu'ils sont issus de l'accumulation et du compactage de débris minéraux et/ou organiques. Les formations géologiques de la région remontent à plus de 360 millions d'années (période du dévonien). Le nord du bassin versant est plutôt du dévonien supérieur tandis que la partie sud est plutôt du dévonien moyen ou inférieur (Colinet, 2022).

Les formations géologiques qui peuvent être observées sur le terrain peuvent être regroupées en trois catégories différentes ; aquifère, aquiclude et aquitard. Ces différentes catégories sont séparées selon leurs caractères hydriques (perméabilité). Pour comprendre ces systèmes, il faut donc comprendre ces trois notions :

- Un aquifère est, au sens strict, une formation géologique qui est perméable, c'est-à-dire, qu'elle contient de l'eau. Par ailleurs, elle doit être suffisamment perméable pour laisser circuler l'eau librement.
- Un aquitard définit, quant à lui, une formation imperméable ou semi-perméable qui participe au drainage vertical des formations plus perméables. Par son éventuelle imperméabilité, un aquitard peut séparer, par exemple, deux formations aquifères, ou encore un aquifère et un aquiclude
- Un aquiclude est encore moins transmissif qu'un aquitard. Bien qu'elle soit perméable, cette formation n'absorbe l'eau que très lentement. Même si elle est saturée, elle ne pourra alimenter suffisamment rapidement une source ou un puits. (Online Browsing Platform, 2011) (Cosandey & Robinson, 2012)

L'eau fait partie intégrante de la géologie. Elle s'immisce entre ses différentes couches et circule entre ses formations. En ruisselant, s'infiltrant et se frayant un passage elle peut également altérer des roches, modifier les horizons et raviner la géologie.

## Ruissellement en région calcaire

Dès qu'on aborde le cycle de l'eau et le ruissellement, on visualise généralement ce schéma typique en 7 étapes :

- Évaporation
- Transpiration
- Condensation
- Précipitation
- Ruissellement
- Infiltration
- Ruissellement souterrain

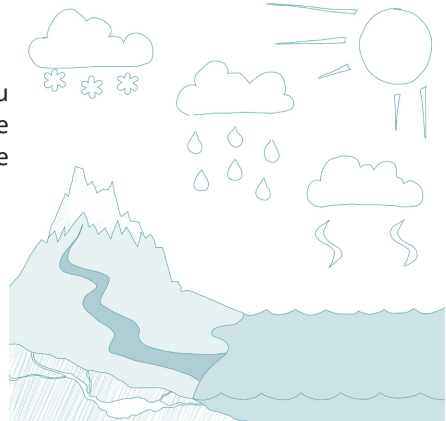


Fig. 6 : Le cycle de l'eau

L'intervention humaine peut pourtant complexifier l'écoulement en imperméabilisant des surfaces qui étaient au préalable des zones d'infiltrations, n'alimentant dès lors plus les nappes aquifères.

Les phénomènes de ruissellement souterrain les plus remarquables se déroulent en région karstique. Mais que signifie concrètement le mot karst ?

Initialement le terme « **Karst** » désigne une région des plateaux calcaires s'étendant au nord-ouest de la Serbie (ex-Yougoslavie) et en partie sur le nord-est de l'Italie. La surface karstique de l'ex-Yougoslavie est très vaste, elle s'étend pratiquement de la Carinthie (un Land d'Autriche) au Monténégro, en passant par la Dalmatie et la Bosnie occidentale. Dans ces régions, la pureté, l'épaisseur des couches calcaires (pouvant aller jusqu'à 1500 m) et la dureté exceptionnelle des roches du Karst ont créé les conditions géographiques d'une topographie dénommée relief karstique (EDENA, 1981) (Salomon, 2006).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Le modèle karstique est dû à la perméabilité des roches calcaires (carbonates de calcium), résultant elle-même de leur solubilité dans l'eau chargée de gaz carbonique. Ces roches sont transformées en bicarbonates selon la réaction :  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

En dehors de rares vallées profondes et étroites présentes dans le Caucase, l'absence de ruissellement, en raison de l'infiltration, réduit le nombre de vallées en surface, à quelques vallées sèches sans issues, dites vallées aveugles ; le manque ou la pauvreté du chevelu hiérarchisé des eaux courantes est caractéristique du modèle karstique. Par son action de dissolution chimique, l'eau de pluie ruisselant sur la roche y creuse des cannelures parallèles séparées par des sillons plus ou moins profonds qui peuvent atteindre quelques mètres, c'est l'origine des lapiés ou lapiaz. Mais la forme la plus courante en surface est la dépression fermée, ou doline. **La doline** résulte de l'affaissement du sol à la suite d'une dissolution souterraine. La dépression attire les eaux de pluie, ce qui accentue la dissolution et l'affaissement qui contribuent à agrandir et élargir la doline (Ibid.).

Les dolines peuvent fusionner entre elles, créant de vastes cuvettes aux contours irréguliers, appelées Ouvalas en ex-Yougoslavie. Les abords sont abrupts. Sur les fonds plats s'accumule une argile de décompositions, seul sol cultivable sur ces plateaux secs et pierreux (Ibid.).

**Les poljés**, mot signifiant « plaines cultivées » en serbe, sont aussi des dolines pouvant atteindre des dimensions considérables. Celui de Livnon, par exemple, dans le Karst bosniaque, fait approximativement 50 kilomètres de long sur 10 kilomètres de large. Le fond plat des poljés, où subsistent parfois en saillie des buttes de calcaires non dissous, sont souvent inondés au printemps et parcouru par des rivières qui se perdent, en général, au pied d'escarpements calcaires, dénommés « ponors » en Slovénie. La surface du sol et le fond des dolines sont aussi percés de trous ou de puits. Certains sont obstrués par des éboulis, d'autres sont de grande profondeur et donnent accès à des cavernes souterraines. Tous résultent encore de l'infiltration des eaux dans le réseau très fin de diaclases de la masse calcaire, fissures qui s'élargissent rapidement par l'érosion mécanique et de façon plus lente par l'érosion chimique (Ibid.).

L'écoulement des eaux de pluie ne pouvant se faire en surface, il se crée un véritable réseau de galeries. Ces dernières s'agrandissent en cavernes, qui sont reliées en zigzag, tant en plan qu'en élévation, par des boyaux étranglés, parfois infranchissables (siphon, cascades, etc.). Dans les cavernes anciennes, le suintement des eaux le long des parois et du plafond crée des dépôts de carbonate de chaux, concrétisations calcaires qui sont à l'origine des stalactites et stalagmites. Les eaux s'infiltrant de plus en plus dans la masse calcaire jusqu'à rencontrer une base imperméable où elles cheminent avant de trouver une issue à l'air libre sous la forme de grosses sources, dites résurgences. Il arrive que la voûte sous

laquelle circule une rivière souterraine s'effondre, créant ainsi une gorge enserrée entre des parois verticales, appelée canyon (Ibid.).

## Les phénomènes karstiques en Wallonie

En Wallonie, près d'un tiers du sous-sol est constitué de roches carbonatées (c'est-à-dire calcaires, dolomies, craies, gypses et autres). Comme expliqué précédemment, des phénomènes géologiques particuliers peuvent être observés dans ces régions. Ils sont créés par l'infiltration de l'eau de ruissellement dans la roche. Cette dernière engendre une dissolution de ces pierres et donne, dès lors, naissance à ces phénomènes, tant souterrains (ex. : grottes, rivières souterraines) que visibles à la surface (ex. : chantoirs, dolines, effondrements, cavités, etc.) (Bernard & Polrot, 1994) (Service publique de Wallonie, 2022).

Plus de la moitié des communes wallonnes sont concernées par des phénomènes karstiques sur leur territoire et la majorité de l'eau potable produite en Wallonie provient de ces aquifères particuliers.

Bien que les phénomènes les plus exceptionnels de karstification soient à recenser dans les zones tropicales (des régions humides et chaude comme a pu l'expliquer monsieur Dassargues lors de notre entretien) ;

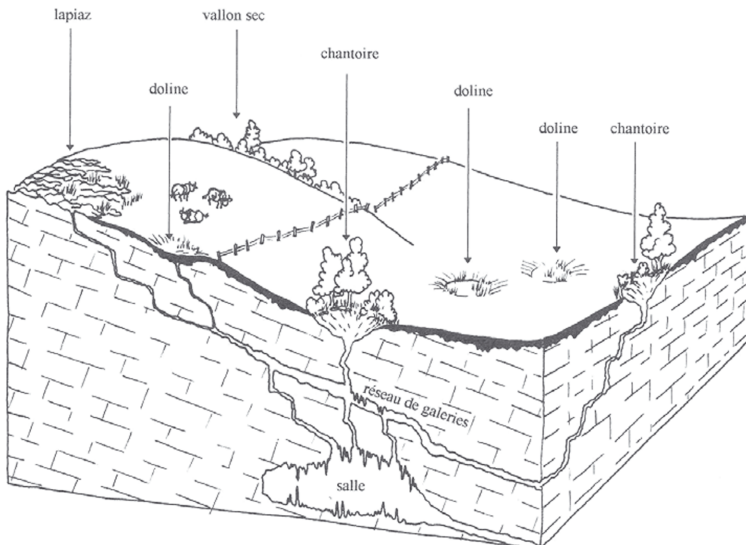


Fig. 7 : Phénomènes karstiques

« Comme toute réaction chimique, si la température augmente, la cinétique de la réaction est la plus grande. Donc, le karst le plus important qu'on voit, c'est dans les zones humides tropicales chaudes. Donc Viêt Nam. Sud de la Chine(...) »

Le karst, ses paysages, ses dynamiques et les risques associés font partie intégrante de notre territoire. Ce sont des enjeux au niveau de la biodiversité, de l'hydraulique, de la sécurité et bien d'autres, qui touchent une vaste partie de notre territoire habité et qui ont des incidences dans bien des domaines. Ces phénomènes sont en continuelle évolution. Ils peuvent apparaître, s'étendre, ou encore se colmater subitement. Il faut donc avoir une compréhension fine du territoire et de ses problématiques pour pouvoir suivre leurs évolutions rapides (Ibid.).

## Les phénomènes karstiques sur le bassin versant de la Vesdre

Dans la vallée de la Vesdre, on retrouve également ces reliefs particuliers, à une échelle moins importante au vu des conditions climatiques moins extrêmes qu'au niveau des tropiques. Les différents phénomènes que nous pouvons observer dans cette région sont :

### Les pertes

Point de perte d'eaux de surface, spécialement d'eaux courantes permanentes, entonnoir dans certaines zones calcaires ou karstiques, où se perd l'eau d'un ruisseau qui resurgit plus loin. Il existe un grand nombre de noms pour décrire ce phénomène. Dans nos régions, on retrouve souvent les termes « Agolina » ou « Doline ».



Fig. 8 : Doline au-dessus du cimetière de Heusy

## Les dolines

Une doline est une dépression circulaire allant de quelques mètres à plusieurs kilomètres de diamètre. Elle se forme par érosion du calcaire dans les milieux karstiques, lorsque l'eau s'infiltré dans le sol et entraîne l'apparition de cavités souterraines.



Fig. 9 : «Doline de l'arbre» à Heusy

## Les résurgences

Réapparition à l'air libre d'une nappe d'eau ou d'une rivière souterraine, sous forme de grosse source. (CNRTL, 2022)



Fig. 10 : Résurgence de Hèvremont

## Le phénomène de vallée sèche

Le phénomène de vallée sèche consiste en un ruissellement de surface repris par un chanoir qui fait s'écouler l'eau en souterrain. Ces cours d'eau souterrains peuvent resurgir plus loin dans la vallée lorsque la roche perméable dans laquelle ils s'écoulaient, rencontre une roche plus imperméable. Le lieu de sortie du flux d'eau est la résurgence. Les ruissellements souterrains peuvent également resurgir au niveau du lit d'un autre cours d'eau, ce qui les rend encore plus invisibles.

Dans le cas de fortes pluies, le chanoir peut être saturé. Il ne peut alors plus capter toutes les eaux de surface. Dans ce cas, le ruissellement est à nouveau visible et suit à nouveau d'anciens axes par lesquels il serpentait en surface.

Cela peut occasionner toute une série de dégâts. En effet, comme ce phénomène est invisible, il arrive souvent que ces espaces soient bâtis et inondés, lors de grandes intempéries, par cette réapparition du cours d'eau (ex : Vallée sèche de Heusy).

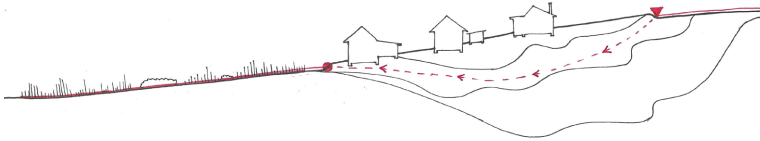


Fig. 11 : Schéma d'une vallée sèche

## Le phénomène de reprise de bassin versant

Lors de la définition des bassins versants, les lignes de crête sont définies comme étant la frontière entre les bassins versants. En considérant cela, toute pluie tombée d'un côté ou de l'autre de la ligne de crête ruisselle jusqu'au point le plus bas du bassin versant, son exutoire. Cette réflexion ne prend cependant pas en compte les phénomènes karstiques qui peuvent se passer en souterrain. En effet, il arrive qu'une perte de ruissellement soit notée d'un côté de la ligne de crête et profite de cavités

souterraines pour rejoindre un autre bassin versant connexe. Cela a pour conséquence d'avoir des débits plus importants que prévu dans les cours d'eau. Cela s'explique par le fait que ces cours d'eau reprennent le ruissellement d'une beaucoup plus grande surface de terrain que celle calculée initialement. Pour illustrer ce phénomène, le cas de la résurgence d'Olné est un bon exemple.

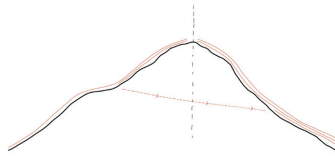


Fig. 12 : Schéma d'une reprise de bassin versant

## Le phénomène de coup d'eau

Le coup d'eau est un cas assez particulier des phénomènes karstiques. Il pourrait être comparé au « bypass » que l'on pratique en chirurgie. En effet, le coup d'eau est un réseau de galeries souterraines qui vient reprendre une partie des flux d'eau de rivière sur laquelle il se situe et la relâche quelques méandres plus loin. L'exemple des grottes de Belleveaux à Nasproué est un cas typique de ce phénomène. Un point intéressant à soulever dans ce cas est la création de digues devant l'entrée du coup d'eau. Le réseau de galeries étant l'axe d'écoulement préférentiel de la Vesdre, il arrivait qu'en été, la rivière soit tarie dans la vallée de Nasproué. Ce qui ne permettait plus d'exploiter le cours d'eau. C'est pourquoi une digue fut construite afin de garder l'eau dans la vallée.

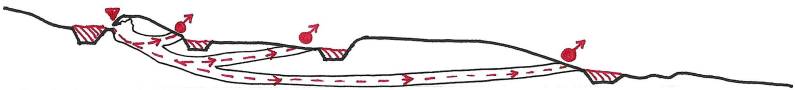
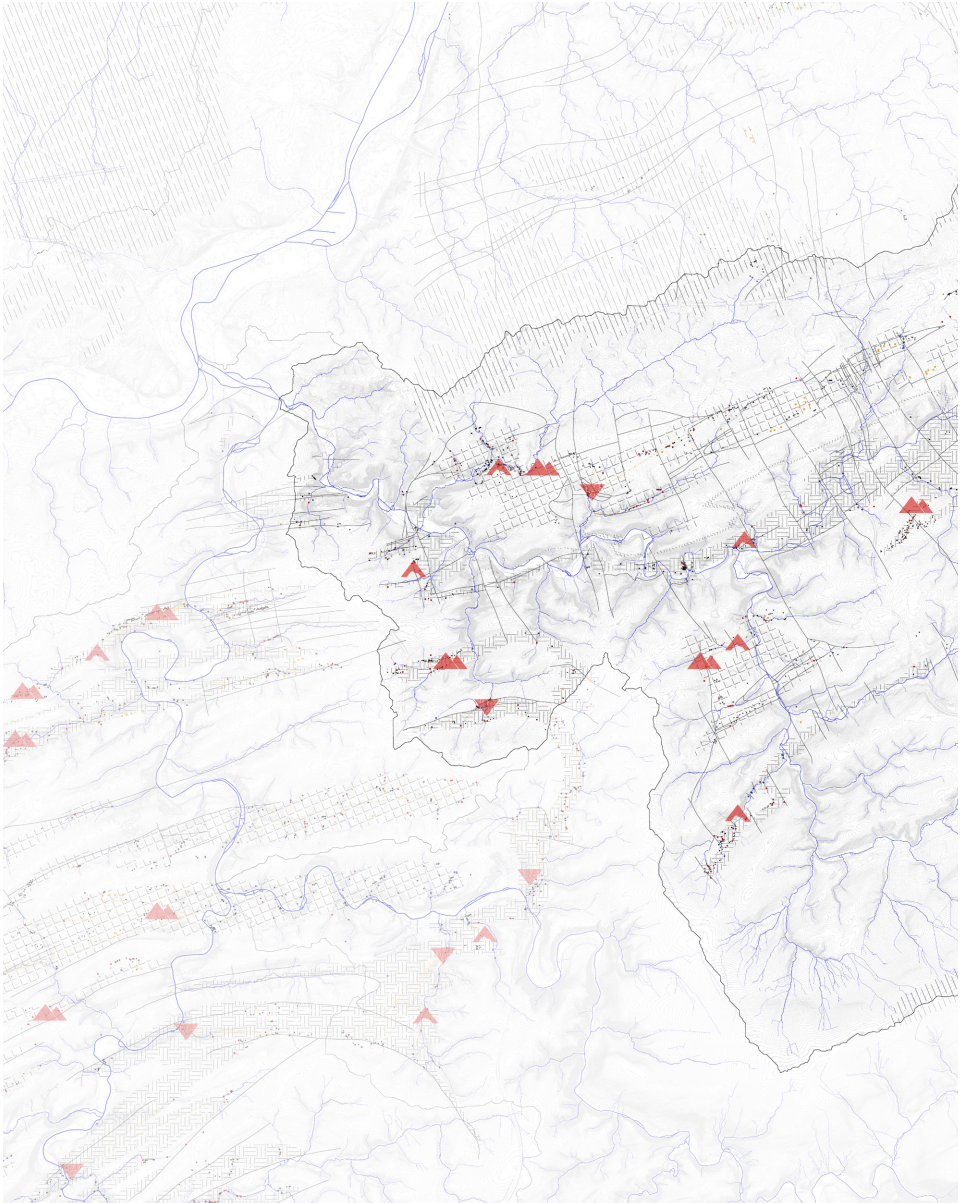


Fig. 13 : Schéma du phénomène de coup d'eau



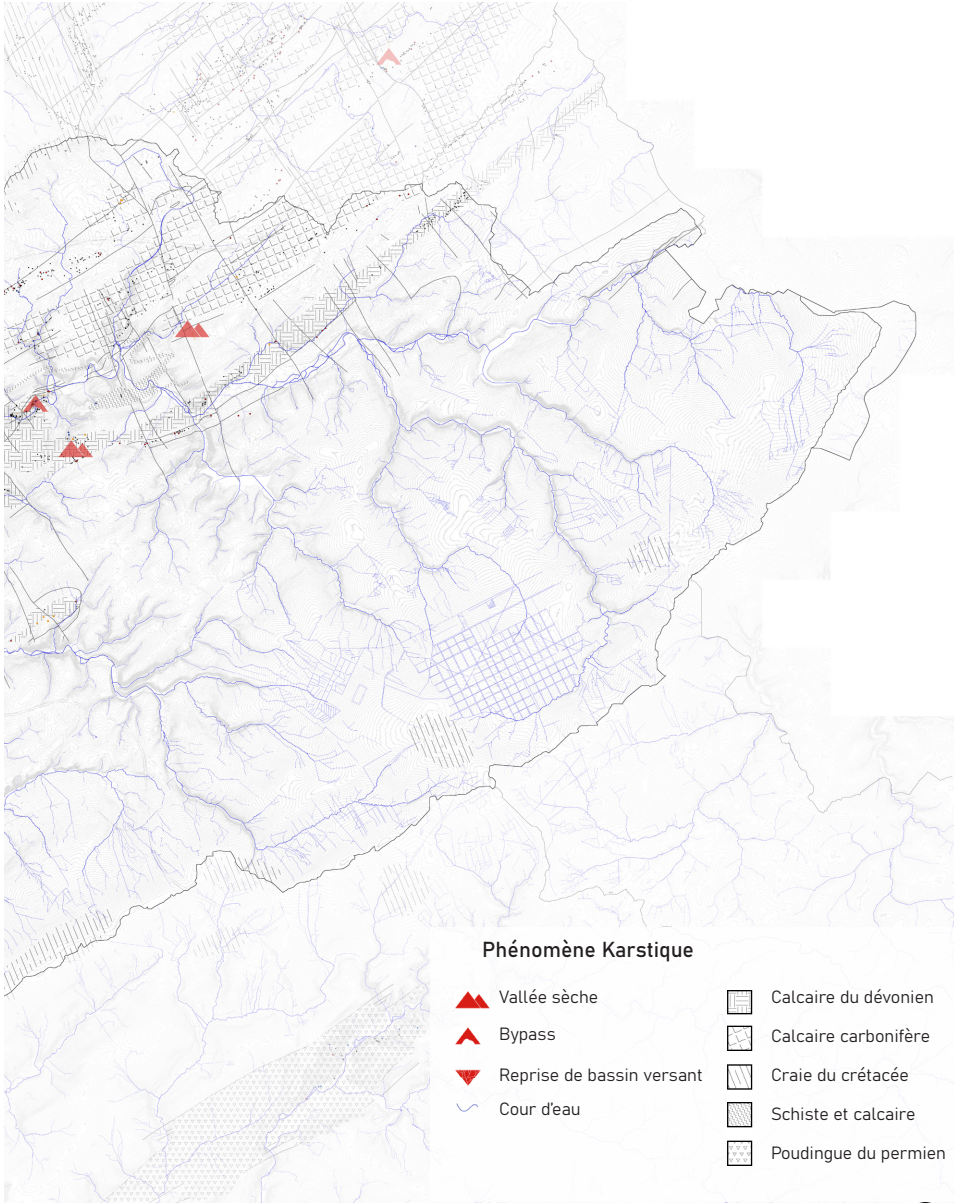


Fig. 14 : Phénomènes karstiques du bassin versant de la Vesdre (1)

## Habiter en zone karstique

En Belgique, et plus particulièrement en Wallonie, les phénomènes karstiques ont fait l'objet d'études poussées pour déterminer les risques que pouvaient représenter ces derniers et préciser où les constructions devaient répondre à des contraintes particulières. Cette étude fut menée par l'Université de Liège (Laboratoire de Géomorphologie et de Télédétection), la Faculté Polytechnique de Mons (Service de Géologie Fondamentale et Appliquée) et la CWPSS (Commission wallonne d'Étude et de Protection des Sites souterrains).

De cette étude sont ressorties trois grandes catégories de zones à risques karstiques.

- **Les zones de contrainte forte** où la densité d'effondrements est supérieure à 15 unités/km<sup>2</sup> ;
- **Les zones de contrainte modérée** où la densité d'effondrements est comprise entre 1 et 15 unités/km<sup>2</sup>, ou bien où le dénoyage du socle calcaire est supérieur à 10 m ;
- **Les zones de contrainte faible** où la densité d'effondrements est inférieure à 1 unité/km<sup>2</sup>, ou bien où le dénoyage est supérieur à 5 m. Cette zone n'a pas d'équivalent dans le reste de la Wallonie et a été introduite pour tenir compte de l'approximation des différents modèles et du caractère évolutif de la surface piézométrique.

Ces zones ont été délimitées en fonction de l'activité karstique détectée sur le territoire. Plus les concentrations en phénomènes karstiques sont fortes, plus les risques sont élevés. Comme nous pouvons nous en douter, les zones à contraintes fortes sont des espaces où toute construction ou aménagement doivent être évités, les risques liés au karst y étant trop importants. Parmi ces risques, on peut notamment citer les effondrements qui peuvent survenir suite à la dissolution des roches souterraines ou après la fragilisation du toit d'une cavité. Dans les zones où les contraintes sont modérées ou faibles, les permis de bâtir sont possibles, mais demandent la réalisation d'une étude préalable sur la stabilité du sol et l'état du karst. Cependant, les roches calcaires peuvent être altérées par les écoulements naturels (eaux météoriques, ruissellements souterrains...), mais aussi par les rejets d'eau liés aux activités humaines. Pour ces raisons, il faut garder à l'esprit que le risque en région karstique n'est jamais nul (DGARNE, 2022).

Comme la construction n'est pas prohibée sur toutes les zones karstiques et que ces phénomènes sont assez récurrents, de nombreux projets ont pu y voir le jour, ou en tout cas être proposés.

Dans la commune d'Esneux, à Avister, un projet visant la construction d'un lotissement de 24 maisons a été proposé sur le vallon sec de Beauregard. A la suite de sollicitations d'habitants d'Avister, la CWEPSS (Commission Wallonne d'Étude et de Protection des Sites Souterrains) a réalisé une étude afin d'évaluer les vulnérabilités du projet de lotissement sur des parcelles contenant plusieurs sites karstiques (CWEPSS, 2017).

Lors des analyses de site, il a été relevé que des effondrements de chaussée s'étaient produits en 2017 et que d'autres s'étaient produits par le passé. A la suite de cette étude, il a d'ailleurs été mis en avant que la zone de contraintes karstiques fortes doit être étendue, impactant le plan de secteur dans lequel certaines zones doivent être rendues inconstructibles (Ibid.).

Un second problème relevé par cette investigation est l'utilisation du vallon sec de Beauregard comme lieu d'épuration. Les maisons alentour rejettent directement leurs eaux grises et noires sur le calcaire. Pour éviter une dégradation des nappes, la mise en place d'un système d'épuration central pour Avister est donc primordiale (Ibid.).

L'urbanisation du vallon est possible, mais ne doit pas s'étendre largement à cause des risques d'instabilité et de la problématique d'épuration des eaux. Il faut par ailleurs bien noter qu'une gestion centralisée des eaux usées est préconisée pour ne pas impacter le terrain calcaire, les nappes et la biodiversité locale (Ibid.).

On peut retrouver des prescriptions similaires dans le projet de lotissement de Petit-Rechain, à Verviers. Un certain nombre de parcelles sont reprises en région karstique. Dès lors, toute infiltration d'eaux usées ou de pluie est prohibée et le rejet des eaux doit se faire par le réseau d'égouttage (bureau Boland-Tailleur, 2011).

Dans certains cas, de simples prescriptions ne peuvent suffire. C'est le cas d'un projet immobilier qui devait voir le jour à Amostrennes. En novembre 2001, une doline préexistante sur lequel devait s'implanter le projet s'est subitement effondrée pour laisser place à un trou béant de plus ou moins 15 mètres de large pour une dizaine de mètres de profondeur. Le champ du village qui devait servir d'implantation au projet est depuis lors repris en zone non-urbanisable (Dassargues, 2022).

Cette prise de conscience des enjeux en région karstique n'est pas récente. Dès 1979 existent des écrits sur le sujet. Il y était déjà mis en avant qu'un bon aménagement du territoire devait tenir compte de la multiplicité des éléments naturels et autres structures paysagères, afin de garantir leur conservation et, par-là, la diversité du territoire. D'après Claude De Broyer, toute construction doit être interdite si elle risque d'altérer la nature et l'intégrité des sites karstiques, qu'ils soient en surface ou en souterrain (De Broyer, 1979). Malgré cette prise de conscience, les mesures prises aujourd'hui sont insuffisantes.

La dépression karstique représente de réels intérêts pour le paysage et la biodiversité, offrant des microclimats particuliers qui favorisent l'établissement d'une flore et faune particulière. Le comblement des dolines et autres chantoirs est donc à prohiber (Ibid.).

Par ailleurs, 60 % des eaux captées en Wallonie sont issues des calcaires. Il faut donc impérativement prendre en compte cette ressource en eau et accorder une attention particulière aux activités polluantes qui pourraient compromettre la qualité de l'eau.

C'est-à-dire ;

- Interdire effectivement l'utilisation comme exutoires d'eaux usées, des points d'absorption karstiques ou des ruisseaux s'écoulant vers ceux-ci ;
- Interdire systématiquement les rejets directs d'eau de ruissellement des autoroutes ou de routes importantes dans ces mêmes points d'absorption ; construire, le cas échéant, des bassins de retenue en amont des pertes en prévoyant un système de fermeture en cas de pollution accidentelle et procédure d'intervention d'urgence pour pomper les liquides polluants ;
- Interdire tout dépôt d'immondices et éliminer ceux qui existent qu'ils soient officiels ou clandestins (De Broyer, 1979, p. 99).

Par ailleurs, on sait que l'évacuation d'eaux usées ou météoriques dans des dolines et chantoirs non actifs ou dont la capacité absorbante est faible peut provoquer des inondations. Une autre conséquence est la réactivation des résurgences karstiques en aval dues à une charge artificielle du réseau souterrain (Calembert & Monjoie, 1971).

Le cas de l'ancienne autoroute E9 (actuellement la N30) est par ailleurs repris comme exemple. En effet, les eaux de pluie de cet axe de circula-

tion étaient redirigées dans le chantoir de Gros Confin à Gomzé-Andoumont. Durant de fortes pluies en 1978, le chantoir a été complètement saturé et le surplus d'eau a inondé la vallée sèche en contre-bas, zone prévue pour de l'habitat résidentiel.

Comme évoqué plus tôt, les régions calcaires ne sont pas seulement observables en Belgique. On retrouve ce type de terrains également chez nos voisins français, mais également en Slovénie en Chine ou encore aux États-Unis (Council of Europe, s.d.).

Par ailleurs, en Chine, a vu le jour un des plus grands projets en région karstique, « Project of Rocky Desertification in Karst Area ». Dans les régions sud de ce pays, un des enjeux écologiques majeurs est celui de la désertification des régions karstiques. Cette désertification menace les écosystèmes du fleuve Yangtze et de la rivière des perles et restreint également le développement économique et social local. Depuis 2008, une revégétalisation des zones karstiques désertiques est mise en place. Depuis 2011, la situation économique de ces régions s'est grandement améliorée. En 2016, les « area of rocky desertification », zone de sécheresse géologique, s'élevaient en Chine à 10,07 millions d'hectares. Ce qui comparé à la situation de 2011 représente une diminution de 1,932 million d'hectares (China, 2019).

Bien sûr, des projets d'une telle ampleur semblent bien loin de ce que nous pourrions avoir en Belgique et sur le bassin versant de la Vesdre, mais il soulève cependant d'autres problématiques que nous pourrions avoir dans nos régions. **Actuellement, les inondations ont fortement marqué nos esprits, mais des périodes de sécheresse intenses pourraient marquer tout autant nos régions. Ces projets, à réadapter en fonction de l'échelle et du contexte, peuvent servir d'exemple pour la construction d'un territoire résilient.**



Fig. 15 : Deux cas d'étude

## Choix du cadre de recherche

Ce TFE étudie plus en profondeur 2 espaces, urbanisés à plus ou moins grande intensité, ayant subi des dégâts et impactés par les inondations de juillet 2021. Comme expliqué plus haut, les enjeux et les causes des inondations se retrouvent à la fois dans les espaces urbains, mais aussi dans les zones rurales. On sait d'ores et déjà qu'un des moyens les plus efficaces est de pouvoir traiter la problématique des inondations, le plus en amont possible, là où les flux d'eaux ne sont pas encore trop importants et de continuer de le traiter tout au long de l'écoulement pour répartir les efforts.

C'est pour ces raisons que le choix des deux cas étudiés s'est porté sur :

- La vallée sèche de Hèvremont
- La vallée sèche de Heusy

Le choix de deux vallées sèches a été fait en raison de la récurrence de ce type de phénomènes karstiques sur le territoire. Un grand nombre de cas restent à traiter, et nécessiteraient un développement plus profond dans le cadre d'un autre travail.

Dans ces deux cas, on va chercher les causes du problème et les potentiels pour le projet d'urbanisme et de paysage, changements et stratégies pouvant être opérés pour rendre l'impact des inondations et sécheresses moins présent. Cela afin, d'avoir un territoire plus résilient à de tels événements. Les habitants de ce territoire ont été interrogés afin de déterminer leurs compréhension et perception des caractéristiques hydrogéologiques de leurs lieux de vie.




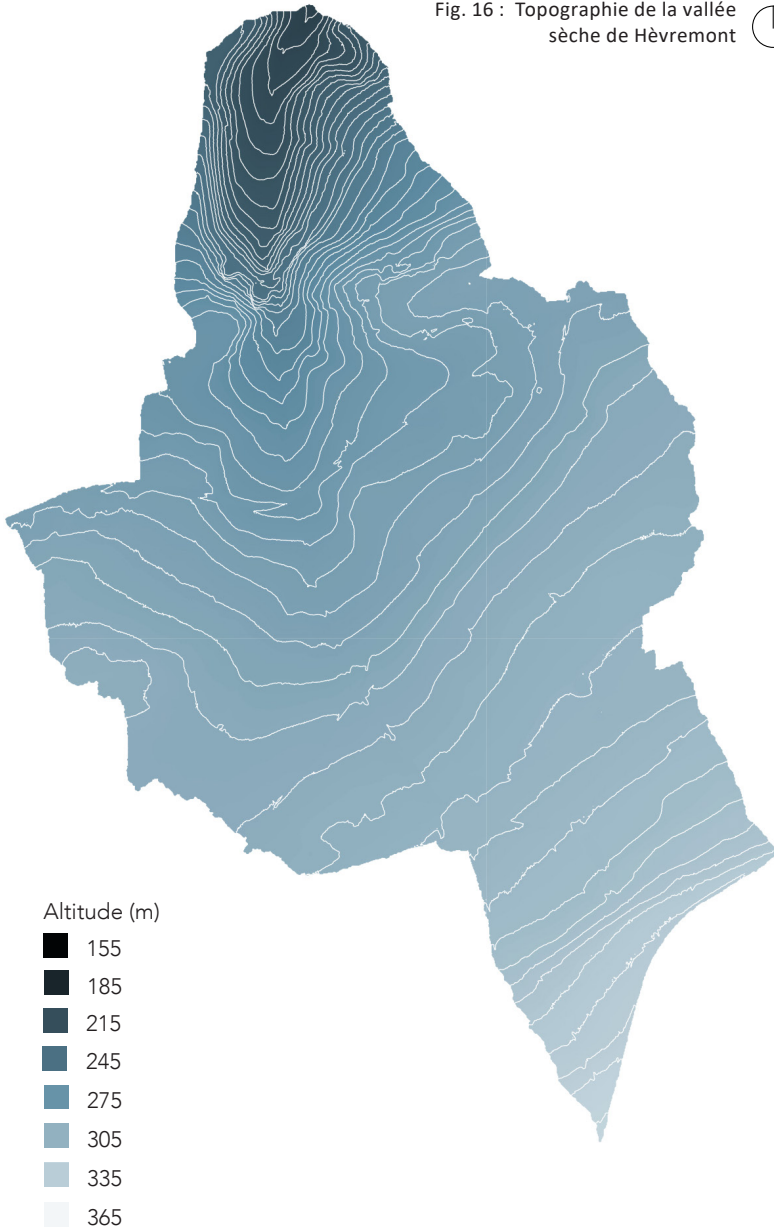


**Projet**





Fig. 16 : Topographie de la vallée sèche de Hèvreumont 



## Cas d'analyse 1 : Vallée sèche de Hèvremont

### Description

#### Typomorphologie du terrain

Dès les premières observations, que ce soit via le repérage du site au travers des vues aériennes, ou lors de visites de site, on perçoit rapidement que la vallée sèche de Hèvremont est peu habitée. Elle est bordée par le village de Hèvremont à l'est et par la périphérie de Verviers à l'ouest. Seules 7 maisons sont reprises dans le bassin versant de la vallée sèche. Cette dernière est principalement composée de pâturages.

On y retrouve cependant un élément particulier, l'aqueduc de la Gileppe qui marque une certaine séparation dans le territoire. La vallée de Hèvremont se développe selon un axe sud-nord. Son dénivelé est assez important et s'accroît fortement après avoir passé l'aqueduc. À partir de ce moment-là, les pentes du vallon sont très franches. Cette vallée est bordée par le village de Hèvremont à l'est et la périphérie de Verviers à l'ouest. L'axe de circulation de la rue de Hèvremont relie par ailleurs ces deux entités.

Pour délimiter la zone de recherche, nous pouvons reprendre les limites de bassin versant de cette vallée sèche en retraçant ses lignes de crête. Cela permet d'estimer la surface de terrain reprise par les écoulements de surface, qui est d'approximativement 760 000 m<sup>2</sup>. Ce qui nous permettra, par après, de faire une première estimation des impacts. (voir annexe : Planche I)



## Exploration in situ

Comme évoqué plus tôt, les phénomènes karstiques peuvent impacter la façon d’habiter le territoire. En tant qu’architecte, il est donc important de comprendre la manière dont ces dynamiques s’implantent pour cohabiter avec cette géologie particulière. Cet élément sera abordé dans la suite de ce travail.

L’étude de site de Hèvremont s’est déroulée en deux grandes phases (partie haute et partie basse). La première étape concernait la perte de la vallée sèche, les dolines alentour et les habitations de Hèvremont. Pour l’étude de la partie basse, la découverte de site s’est principalement axée sur les résurgences du Hodjaury et sur l’aqueduc de la Gilleppe.

### Partie haute

L’étude de Hèvremont débute donc à proximité des premières habitations de la rue de Halleur. À ces endroits sont présentes deux pertes. La première concerne le chantoir de l’étang carré (435-072z), qui reprend les eaux de l’étang situé juste au-dessus, lui-même alimenté par une source située 400 m en amont. De l’autre côté de la route se situe une seconde perte (435-033z), comblée actuellement par de grosses pierres, et devant souvent être remblayée en raison d’un ravinement qui continue de s’y faire selon les dires d’un habitant (Habitant de Hèvremont, 2022). La majorité des eaux sont reprises dans la première perte (Dethier, 1982) (Polrot, 2002).

Afin d’observer les autres dolines du site, j’ai suivi la rue Beaudrifontaine bordée par une canalisation du Hodjaury, asséchée lors de mon passage. Dans le champ au nord de cette canalisation étaient auparavant répertoriées 10 dolines, dont la quasi-totalité a depuis été remblayée. Les dolines suivent deux axes, une première série reprend l’axe est-ouest (axe de la jonction entre les différentes formations) et le second suit l’axe sud-nord qui correspond au sens d’écoulement de la vallée. La doline la plus importante (435-079f) mesure 50 m de long pour 10 m de large et 1 m de profondeur. Le terrain est marqué par le ruissellement qui peut s’y faire. On retrouve une longue dépression tout le long de la haie du champ qui suit l’axe sud-nord (Laloux, et al.) (Polrot, 2002).

À partir du champ, j’ai suivi un chemin de promenade pour rejoindre la rue de Hèvremont et le lieu-dit « Goronnes ». Autour de ce lieu-dit, on peut noter un ensemble de dépressions. Au nord, on en retrouve

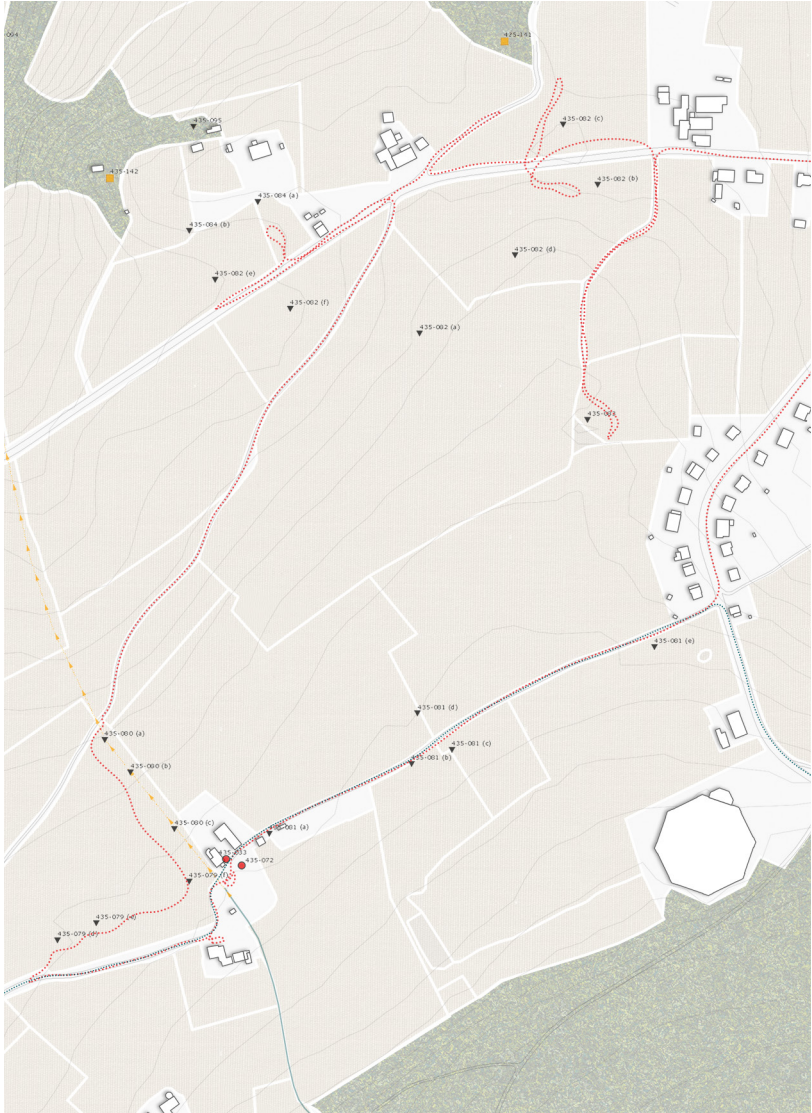


Fig. 17 : Carte de cheminement de la partie haute de Hèvermont

- ..... Parcours en voiture
- ..... Parcours à pied



7 dont une a été remblayée ; au sud, on en trouve 11 dont 5 ont été remblayées (actuellement, on ne dénombre plus que 6 de ces ensembles sur les cartes du karst). Dans cet ensemble, deux dépressions sont assez impressionnantes par leur taille. La première (435-082c) fait plus de 100 m de long sur 50 m de large et 2,5 m de profondeur (Ibid.).

De l'autre côté de la route, on retrouve la seconde (435-082b) qui pour sa part fait 90 m de long sur 30 m de large pour 1 m de profondeur. Elle est moins profonde que la première et a probablement été partiellement remblayée. Ces deux dolines conjointes ont été exploitées pour leurs sables. Elles ne sont donc pas le seul fait de la nature des sols. Leur origine est à la fois anthropique et naturelle. On retrouve par ailleurs la trace de cette exploitation sur les cartes anciennes. Un four à chaux était, entre autres, situé dans l'ancienne carrière des Goronnes, le point 435-141z (Ibid.).

Au sud de ces dolines, au centre de prairies, se trouve une doline partiellement boisée (435-083z). Elle mesure plus ou moins 65 m de long sur 40m de large pour 4 m de profondeur. On remarque cependant qu'elle est en train d'être remblayée. Je n'ai par ailleurs pas pu retrouver le rocher affleurant qui y avait été mentionné lors d'un autre relevé du site.

Cette partie d'exploration se conclut par le retour au point de départ, la rue de Halleur. De nombreuses dolines bordent la route et longent les haies des champs. La route est également dégradée en certains points, ce qui pourrait être expliqué par l'influence du karst.



Fig. 18 : Carte de cheminement de la partie basse de Hèvermont

- ..... Parcours en voiture
- ..... Parcours à pied




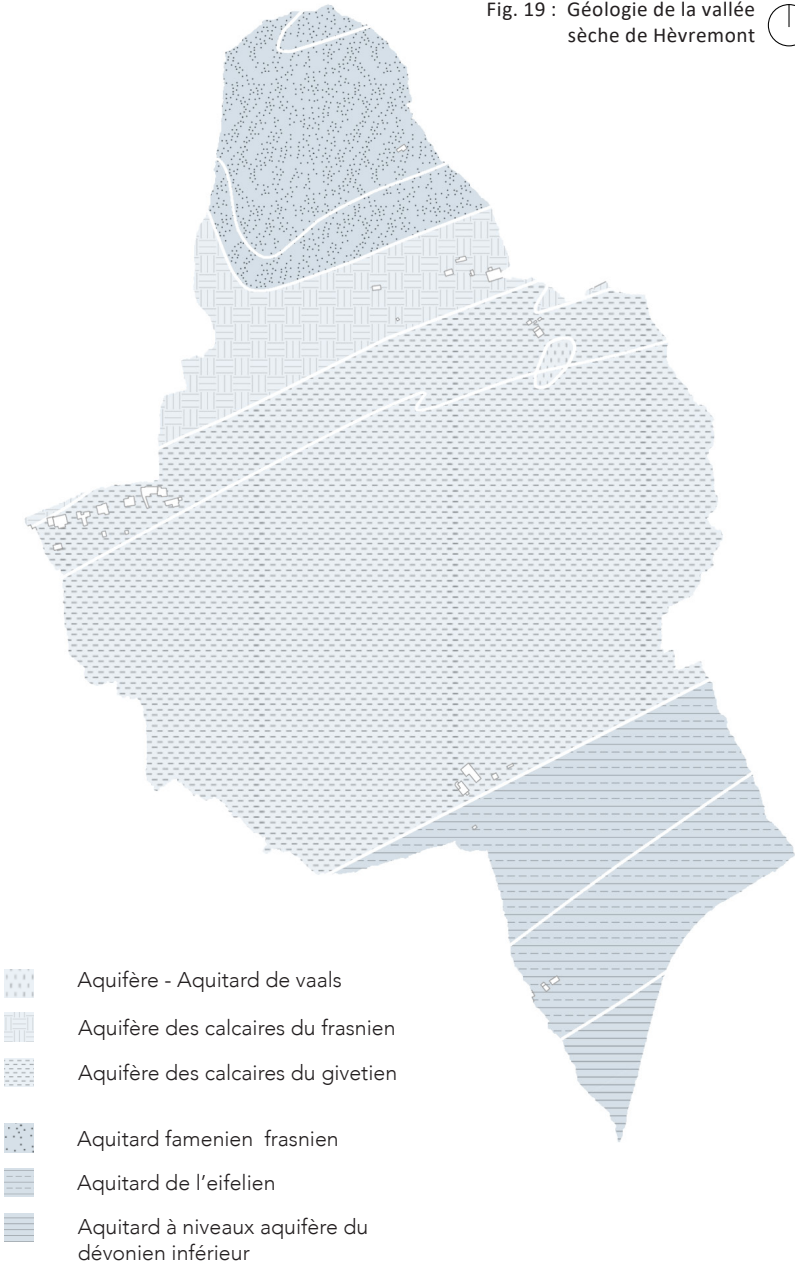
## Partie basse

La seconde partie de la visite de Hèvremont débute au bout de la rue des Fosses. À partir de cette rue, serpente entre les champs un chemin de promenade. Il permet de rejoindre l'aqueduc de la Gileppe sur lequel on peut se balader. L'aqueduc peut être décrit comme une digue massive qui vient scinder le paysage. De nombreuses ouvertures ont été pratiquées tout au long de son parcours pour éviter que cet aqueduc fonctionne comme un barrage.

Pour arriver jusqu'aux résurgences, il faut emprunter une des ouvertures qui s'apparente à un tunnel sous l'aqueduc, point de passage pour l'axe de ruissellement principal de Heusy. On retrouve d'ailleurs la trace d'embâcles naturels qui peuvent s'y former, amenés lors de fortes pluies ou autres. Dès la sortie de la forêt, on situe directement la résurgence du ru de Halleur (435-034z). Cette dernière est marquée par une zone humide, bien plus marquée au moment de la visite, en raison de la fauche du champ. On y retrouve de nombreuses plantes humides comme des joncs ou des carex. L'émergence est liée au chantoir en dessous de l'étang situé 1 km en amont(Ibid.).

Sur le retour, j'ai observé un canal creusé par un fermier du coin afin d'éviter que le ruissellement canalisé par l'aqueduc ne fasse trop de dégâts à ses infrastructures.

Fig. 19 : Géologie de la vallée sèche de Hèvremont 



## Géologie

Les différents phénomènes karstiques de Hèvremont se retrouvent sur le même banc de roches que ceux de Heusy. Tous deux sont situés sur la formation de Nèvremont, des calcaires du givétien. Cependant, due à son orientation sud-nord, elle traverse un grand nombre de formations géologiques. Au sud de la Formation de Nèvremont, on retrouve celle de Pepinster. Il est à noter que la rue de Halleur se situe sur la jonction des deux. Un petit ruisseau s'écoule le long de la route dans un fossé et marque la délimitation entre les deux roches (Coen-Aubert, 1974) (Dejonghe, 1987). (voir annexe : Planche III)


Au nord de la formation, on retrouve d'abord la formation du Roux suivie de la formation du Lustin et de la formation d'Aisemont pour finir enfin sur la formation de Lambermont (Ibid.).

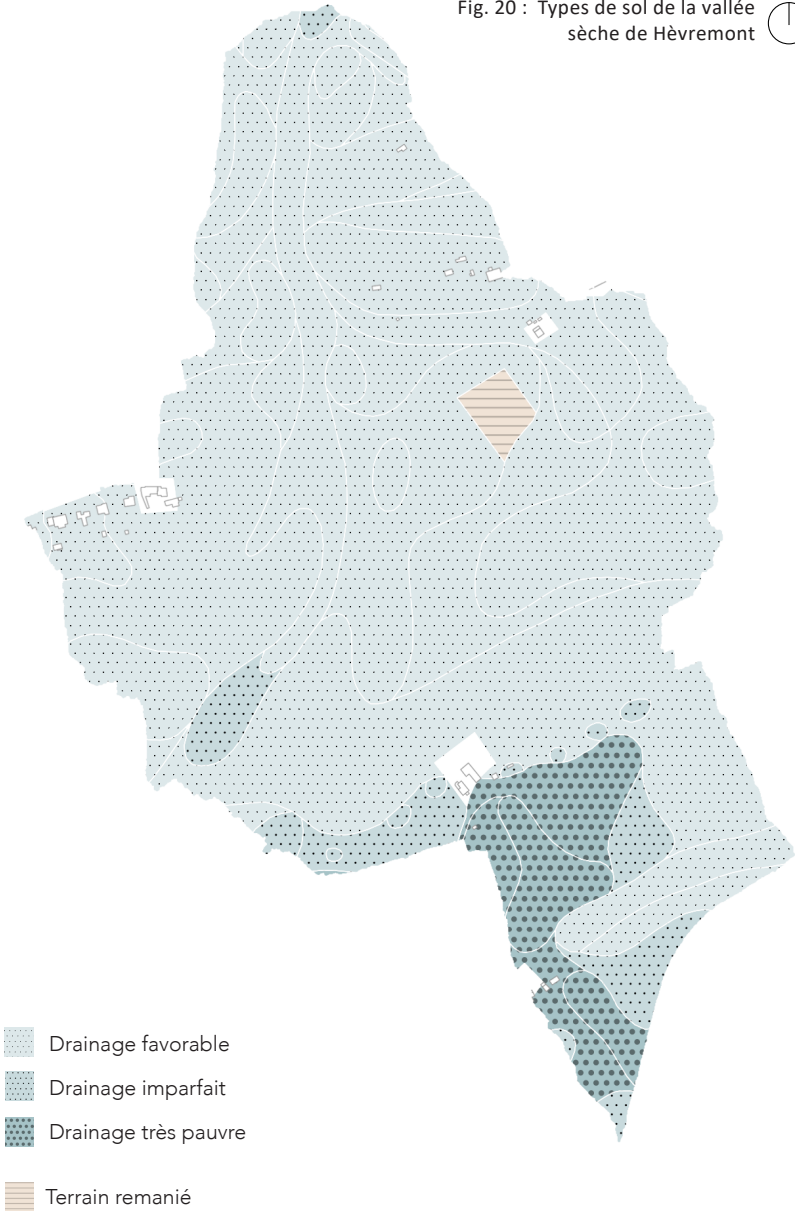
La formation du Roux est constituée d'une première couche de schiste (+/– 4 m) reposant sur une épaisseur de dolomies parfois gréseuses (entre 13,65 m et 15,4 m). Il s'en suit après une couche de calcaire pouvant aller jusqu'à 21 m d'épaisseur. Sous ce calcaire se retrouvent de nouveau une couche de dolomie et une nouvelle couche de calcaire soulignée par un double épisode récifal. La dernière unité lithologique de la formation est composée de calcaires fins laminaires. Elle varie entre 23m et 30 m d'épaisseur (Ibid.).

Pour la formation de Lustin, on distingue 3 unités lithologiques. La première reprend des calcaires récifaux sur près de 30 m. La seconde est composée d'un banc riche en coraux et stromatopores lamellaires. Elle fait environ 3 m d'épaisseur. La dernière est un banc à stromatopores massif alternant avec des calcaires fins et clairs variants entre 45 m et 50 m d'épaisseur (Ibid.).

La formation suivante, celle d'Aisemont, est décrite par Coen et al (1976) comme une formation composée de 2 niveaux calcaires qui encadrent une unité schisteuse plus ou moins carbonatée :

1. *La formation débute à la base du 1er biostrome. Il s'agit d'un niveau de calcaires organoclastiques, subnoduleux, d'environ 6 m d'épaisseur. Il surmonte immédiatement les bancs à stromatopores et Hexagonaria du sommet de la Formation de Lustin. Il est reconnaissable par la présence d'une semelle montrant de nombreux Frechastraea rubanés les débris fossilifères abondants, peu remaniés, se composent de tabulés, de coraux branchus et solitaires et de brachiopodes;*

Fig. 20 : Types de sol de la vallée sèche de Hèvermont 



2. *Le développement récifal est interrompu par un intermède schisteux (shales) à débris de brachiopodes et à nodules calcaires. Cette phase argileuse s'épaissit avec 67 m à Bellevau et environ 80 m à Raeren (feuille voisine);*
3. *Le 2e biostrome est formé d'une masse de calcaires organoclastiques subnoduleux, gris clair, riches en organismes généralement remaniés (Frechastraea, Phillipsastrea, rugueux solitaires, tabulés, et brachiopodes). Son épaisseur est comparable à celle du 1er biostrome. Cette unité constitue un bon repère cartographique.*

La formation de Lambermont est essentiellement formée de schistes (shales), de schistes noduleux à grands brachiopodes, de schistes (salés et cultistes) finement micacés à lits de nodules calcaires à brachiopodes, à lits plus ou moins continus de calcaires argileux ou de schistes noirs avec tous les intermédiaires possibles. Son épaisseur est d'environ 115 m (Ibid.).

Les différentes pertes et résurgences relevées dans la vallée sèche sont situées sur les jonctions de ces formations. Les pertes se font en arrivant sur la formation de Névremont plus perméable que la formation de Pepinster. La résurgence se situe, quant à elle, au niveau de la formation de Lambermont et de ses schistes (Ibid.).

Mais avant que l'eau n'arrive dans ces strates souterraines, elle doit d'abord passer dans différents horizons de sol. Sur le bassin de Hèvermont, on retrouve principalement des sols limoneux et limono-caillouteux. Pour ce qui est des classes de drainage de ces sols, elles sont reprises comme favorable non gleyifié sur la majorité du bassin. On note cependant dans la partie haute des niveaux de drainage imparfaits modérément gleyifiés voir des drainages très pauvres. Ces différences de drainage se remarquent sur la partie de la formation de Pepinster, comme l'a fait remarquer l'habitant lors de notre échange. (voir annexe: Planche II)

« ...Même le bois n'absorbe plus. On le voit d'ailleurs dans les vidéos que j'ai refaites, on voit que le sol ici est très argileux. Je suis le dernier de la fagne. Ok, je t'avais expliqué. Oui, de l'autre côté de la ruelle ça n'est plus le même sol, c'est rocheux. » (Annexe Entretien, pp. 9)

On retrouve des champs très humides au-dessus de chez lui puis un milieu plus sec en contrebas. Ce qui s'explique justement par cette différence de niveau de drainage.

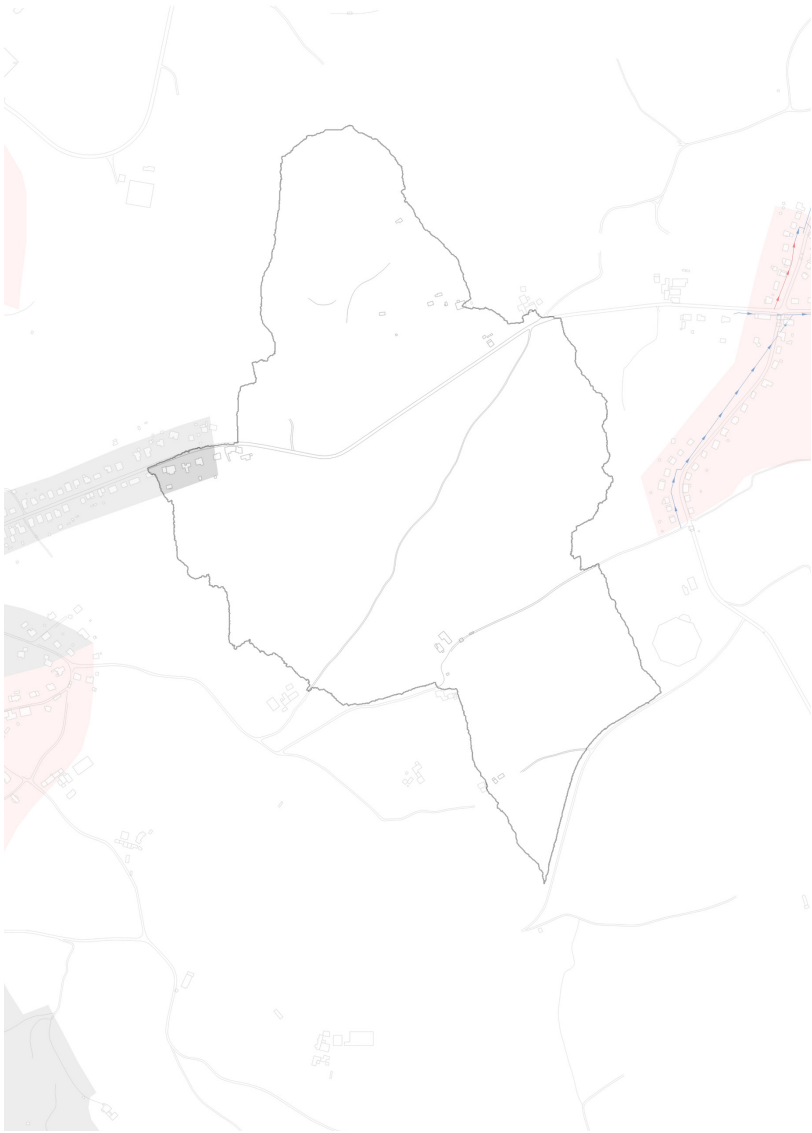


Fig. 21 : PASH de la vallée sèche de Hèvermont

Régime d'assainissement

Collectif

Autonome



## PASH

La vallée sèche de Hèvremont n'est pas reprise au PASH (plan d'assainissement par sous-bassin hydrographique). N'étant pas raccordés au réseau d'égouttage, les habitants doivent épurer leurs eaux usées de manière autonome et doivent donc installer un système d'épuration individuelle agréé.

De leur côté, les habitations de la périphérie de Verviers, située à proximité de la vallée sèche sont reprises dans le plan d'assainissement autonome.

Dans ce cas-là, le code de l'eau impose des obligations en ce qui concerne le rejet des eaux épurées (SPGE, s.d.) :

1. Par drains de dispersion (dans le cadre des permis d'urbanisme, il faut joindre une étude hydrologique) ;
2. Si le terrain n'est pas perméable ou si la parcelle est trop petite, la solution suivante est le rejet dans le fossé ou dans les canalisations de la voirie s'il y en a ;
3. Si ce n'est à nouveau pas possible, il peut y avoir un rejet dans un ruisseau (avec autorisation du gestionnaire) ou dans un étang ;
4. En dernier recours, si aucun des 3 points précédents ne peut être rencontré, on rejettera dans un puits perdant.

Le village de Hèvremont est de son côté repris en zone d'assainissement collectif. Les eaux usées des habitations sont renvoyées à la station d'épuration de Wegnez par un peu plus de 18,5 km d'égouts gravitaires.

Les différentes habitations de la vallée sèche devraient être reprises dans l'une des deux méthodes d'épuration du PASH pour plus de clarté.

Fig. 22 : Risques de la vallée sèche de Hèvermont

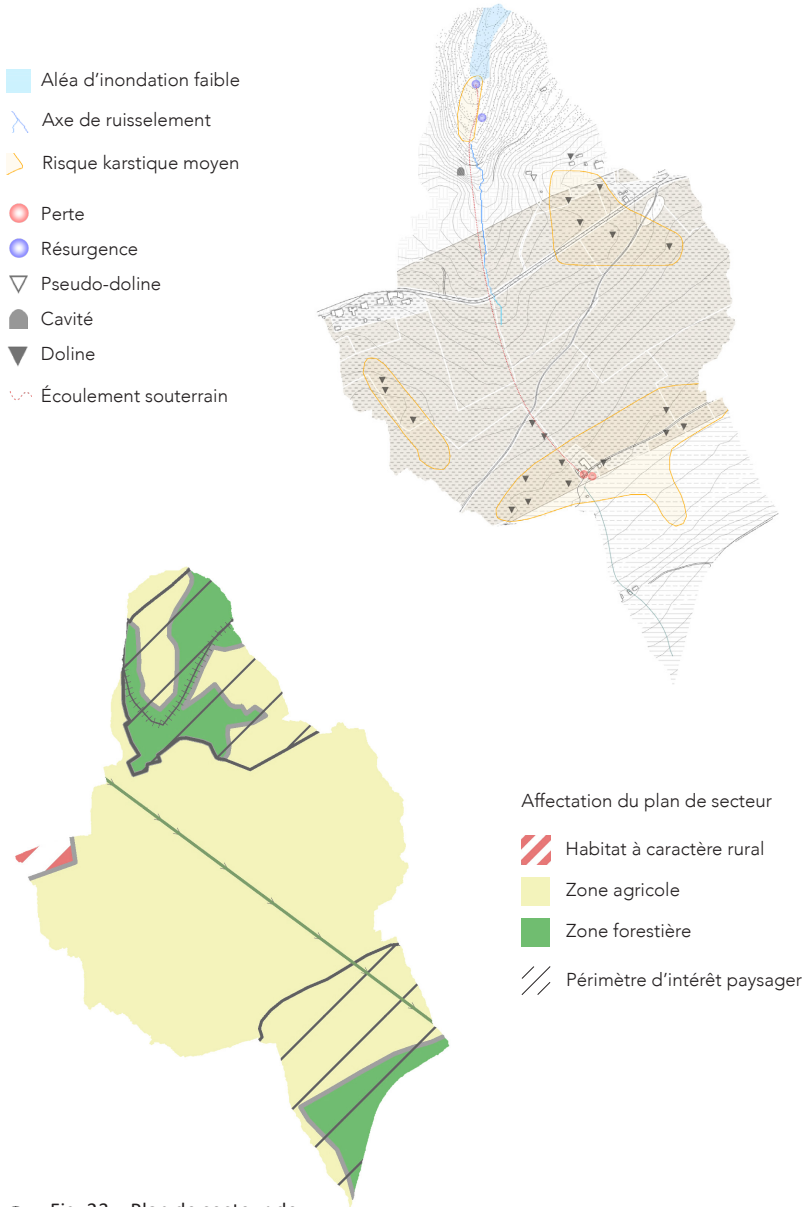


Fig. 23 : Plan de secteur de Hèvermont

## Analyse des risques

En raison de son faible nombre d'habitations, les risques ne semblent pas très marqués dans la vallée sèche de Hèvremont. On retrouve un grand axe de ruissellement qui s'écoule dans le fond de la vallée quand le karst, où le petit ruisseau du Hodjaurys vient se perdre, ne sait pas reprendre les eaux météoriques. Cet axe s'écoule jusque dans le vallon de la résurgence sous les Goronnes et vient retrouver le ruisseau du Hodjaurys qui émerge au même point. À partir de cette résurgence, toute la suite du fond de vallée est située en aléas d'inondations faibles. On retrouve des risques plus intenses au niveau de la confluence avec la Vesdre. (voir annexe : Planche IV)

L'influence des axes routiers sur l'écoulement dans la vallée sèche est limitée en raison de leurs placements perpendiculaires au sens d'écoulement. Il est tout de même à noter que plusieurs des sous-axes de ruissellement viennent rejoindre l'axe principal au niveau de la rue de Hèvremont.

Comme mentionné plus haut, un ouvrage ayant plus d'impacts sur ces écoulements est l'aqueduc qui traverse tout le territoire. Les différentes ouvertures qui y sont pratiquées canalisent les eaux de ruissellement venant des champs en amont. Le regroupement de ces axes augmente leurs débits et par la même occasion les dégâts qu'ils peuvent causer. Les risques d'inondations de bâtiments sur cet espace, en raison de l'existence de l'aqueduc, sont tout de même limités par la faible présence d'infrastructures, seule une exploitation agricole étant présente.

En ce qui concerne les risques liés au karst, on dénombre quelques zones à risques modérés. Toutes les habitations de la vallée sèche sont reprises dans ces zones ou en périphérie proche. Bien que le risque ne soit pas considéré comme important, il faudrait tout de même surveiller l'évolution du karst. La perte sur la voirie de la rue de Halleur doit souvent être remblayée et de nombreux dégâts sur la chaussée de la même rue sont observables. Il est tout de même à noter qu'une densification des habitations au sein de la vallée sèche ne semble pas encore prévue. Le plan de secteur reprend la vallée sèche de Hèvremont en zone agricole avec quelques petites variations pour des parcelles forestières. L'accroissement des risques, en rapport aux habitations, semble peu probable bien que des modifications du plan de secteur peuvent être introduites. Il faut donc garder à l'esprit les risques karstiques afin d'en tenir compte si le plan de secteur en vigueur venait à être modifié. (voir annexe : Planche V)



## Entretien avec l'habitant (impact sur le milieu habité)

Comme expliqué dans la méthodologie, les observations faites sur le terrain et au travers des cartographies sont complétées par une rencontre avec des habitants de la vallée sèche. Pour le cas de Hèvermont, j'ai pu entrer en contact avec un habitant de la rue de Halleur. Différents points importants sont ressortis de cette discussion.

Lors des inondations, les habitants de la rue de Halleur ont eu un **débordement au niveau des étangs et du ruisseau du Hodjaury**s. Le trop-plein de l'étang se jetait dans l'agolina située juste en dessous, mais celle-ci ne pouvait pas contenir toutes les eaux. **L'excédent s'écoulait sur la rue. Bien qu'ils connaissent des débordements récurrents, ils n'en avaient pas connu de la même ampleur. Les sols des champs situés plus hauts étaient gorgés d'eau depuis longtemps et même le bois ne pouvait plus absorber.** Cependant, ils n'ont pas eu vraiment de dégâts à relever. Actuellement, la personne interrogée faisait mention d'une période assez sèche. Le niveau d'eau de son puits étant à un niveau inhabituellement bas pour la période de l'année. Ils sont raccordés à l'eau potable, mais non au réseau d'égouttage. Ils ont dû alors installer une mini-station d'épuration. Pour ce qui est de l'évacuation des eaux, ils dispersent les eaux traitées et les eaux de pluie plus loin. Ils n'ont pas de citerne d'eau de pluie. La commune ne donne pas de conseils ou de mesures à adopter sur la façon de rejeter les eaux. Juste après les inondations, les ouvriers communaux sont venus nettoyer le fossé qui longe la route et qui est très souvent bouché.

**Pour ce qui est des phénomènes karstiques, il note la présence de plusieurs ravinements le long de la route à proximité de l'agolina qui doivent être assez souvent comblés.**

La maison dans laquelle ils habitent est très ancienne, datant peut-être du 11<sup>e</sup> ou 12<sup>e</sup> siècle. Une des particularités de sa maison se situe au niveau de la cave. **Cette dernière laisse passer l'eau et un petit écoulement se fait presque en continu le long des murs. Parfois, il y retrouve des salamandres ou d'autres amphibiens qui remontent le filet d'eau.**

L'habitant connaît assez bien les caractéristiques géologiques de la région ainsi que les phénomènes karstiques pouvant y être observés. Les inondations ne semblent pas créer de dégâts ou d'impacts importants pour eux. **Les risques karstiques ne sont, de leur côté, par réellement pris en compte (dispersion directe des eaux usées et des eaux de pluie.) La commune ne fait pas de recommandations dans ce sens. Les phénomènes karstiques actifs sont connus, mais ne soulèvent pas de questions ou d'actions spécifiques autres que le remblaiement de certains des points de pertes.** (voir annexe : Entretien\_Habitant de Hèvremont)

## Stratégies

Les différents aménagements proposés permettront de ralentir, de mieux gérer les ruissellements et de garder de l'eau sur le territoire, le temps que celle-ci puisse s'infiltrer. Cela générera un paysage particulier à haut potentiel en termes de biodiversité aidant lors des périodes de sécheresse. (voir annexe : Planche X à XIV)

### Projet au niveau de la perte et de la partie haute de la vallée sèche

Au plus proche de la maison, la chaussée est rabaissée de 1/2 mètre afin de créer une dépression qui permet de recevoir les éventuelles eaux qui pourraient déborder du système mis en place en amont.

Une digue verte d'un mètre de haut sera mise en place après la perte, avec pour objectif de garder l'eau de pluie et de ruissellement le temps qu'elle s'y infiltre, de sorte à protéger l'habitation. Dans le cas de trop grandes pluies, la digue et la dépression dans la route permettront également de rediriger le ruissellement de surface le long de la haie du champ en contre-bas.



Fig. 24: Aménagement des pertes de Hèvermont



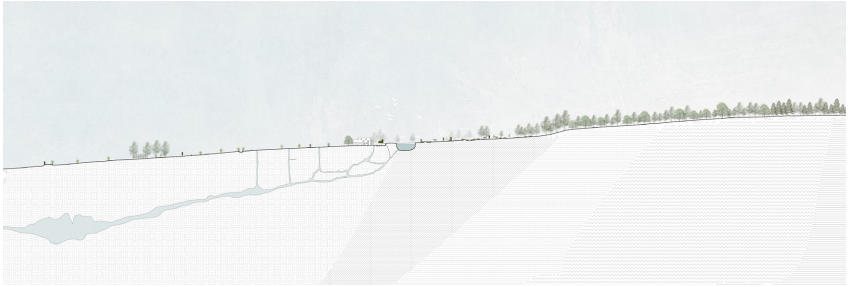


Fig. 25 : Coupe des pertes de Hèremont



Fig. 26 : Coupe dépression végétalisée

Les prairies sont aménagées en prairies humides par le biais de diguettes en terre. Ce système paysager est concentré dans les prairies où sont rassemblés les axes de ruissellement de la vallée sèche.

Les diguettes et dépressions peuvent être réalisées par le propriétaire du terrain. Pour les dépressions, il s'agit de creuser une surface peut profonde. L'excédent de terre peut alors être placé sur le pourtour bas de la surface excavée afin de façonner une diguette.

De leur côté, les petites digues sont réparties en deux catégories : celles pour ralentir le ruissellement et celles pour retenir l'eau. Cela permet de créer des zones humides dans les prairies. Un système de haies vivantes perpendiculaires à la pente sera mis en place dans toutes les prairies du sous bassin versant de la vallée sèche.

Les haies font partie des aménagements ayant un impact important sur l'hydrologie d'un bassin versant et sur la lutte contre l'érosion. Elles sont utilisées comme abri brise-vent pour le bétail et peuvent également fournir du bois de chauffage après l'entretien de ces dernières.

La composition de la haie et son organisation conditionnent directement son efficacité du point de vue hydraulique. Une haie anti-érosion est idéalement composée de 3 types d'essences indigènes :

- Une essence à recéper, type noisetier, saules indigènes, mais aussi houx, troène, viorne obier, pour assurer une résistance mécanique à l'ensemble,
- Une essence drageonnant, comme les cornouillers mâles et sanguins, le houx, pour fixer le sol,
- Une essence de « bourrage » supportant bien la taille, comme, par exemple, le charme, l'érable champêtre, le hêtre.

Selon le principe de multifonctionnalité des aménagements, il est recommandé d'associer d'autres essences locales pour plusieurs raisons : intégration dans le paysage, agricole (peut par exemple offrir de l'ombre au bétail), énergétique, et/ou faunistique (petits fruits, fleurs mellifères). On retiendra par exemple le sorbier, le chêne, le pommier sauvage, le néflier, la viorne, les aubépines, les groseilliers, les framboisiers, etc.



Fig. 27 : Coupe des résurgences de Hèvermont

## Projet au niveau de la résurgence et de la partie basse de la vallée sèche

À l'endroit de la résurgence est mis en place le même système paysager qui permet de gérer le ruissellement. Les prairies sont aménagées en prairies humides, par le biais de diguettes en terre et de dépressions de l'ordre de la microtopographie.

Un ouvrage d'une plus grande importance permettra cependant d'aider à traiter ces écoulements. Une zone de rétention d'eau temporaire régulant le débit d'eau en sortie sera mise en place avant la confluence de la Vesdre et de la vallée sèche. Cette zone (prairie inondable) profite du relief local favorable pour contenir le surplus d'eau. Elle joue le rôle de tampon le temps que l'eau s'écoule avec un débit normal vers la Vesdre.

Cette zone se matérialise par un barrage à pertuis ouvert en terre, de 5 m de haut, ce qui assure une retenue de l'eau lors d'évènements pluvieux intenses. Le barrage contient une canalisation permettant le passage d'un débit « de fuite » contrôlé, ainsi qu'un seuil de déversement renforcé par un géotextile enherbé.



Fig. 28 : Aménagement des résurgences de Hèvermont



Cette zone de rétentions temporaire peut également servir pour irriguer des champs en contre-bas lors de périodes plus sèches.

Comme évoqué plus haut, la vallée sèche de Hèvremont est marquée par la présence de l'aqueduc de la Gileppe. Il crée un effet de barrage et influe sur le ruissellement de l'eau de surface et sur la forme du sous-bassin versant en jouant le rôle d'un grand entonnoir. L'ouverture sous l'aqueduc située juste au-dessus des infrastructures du fermier est déplacée vers l'est afin de lui éviter des dégâts. Ce déplacement aura pour effet de rediriger le flux d'eau qui y passait vers les résurgences de la vallée sèche et le Hodjaurys.

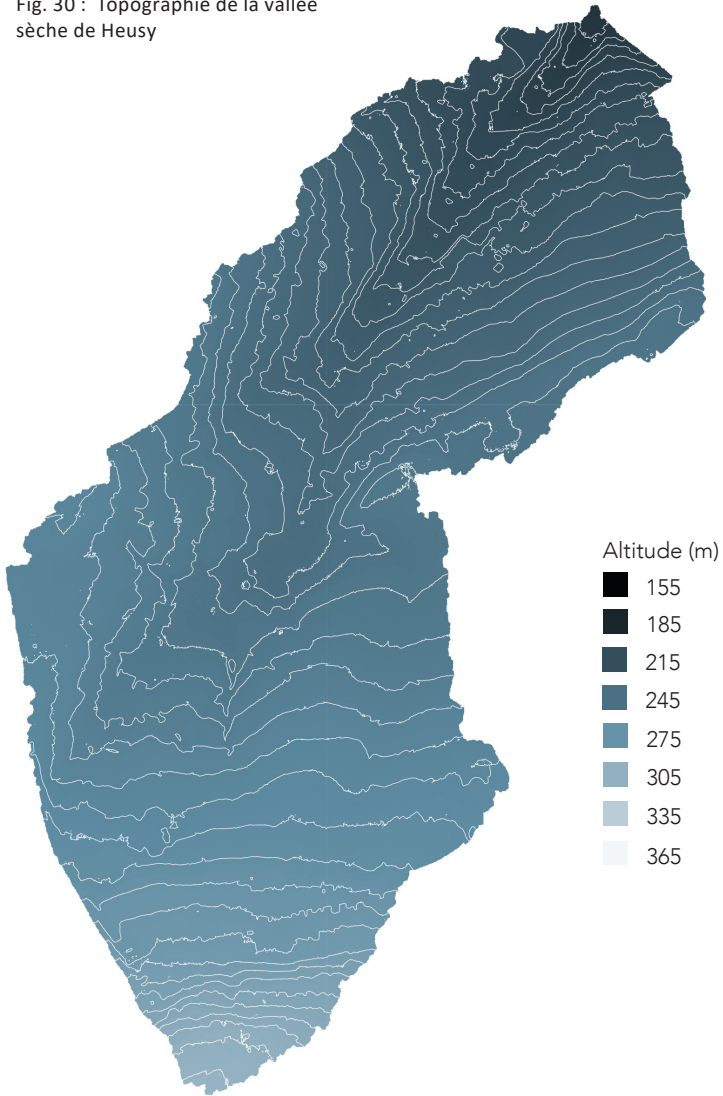


Fig. 29 : Vue espace rural





Fig. 30 : Topographie de la vallée sèche de Heusy



## Cas d'analyse 2 : Vallée sèche de Heusy

### Description

#### Typomorphologie du terrain

Contrairement à la vallée de Hèvremont, celle de Heusy est un espace fortement urbanisé. Par ailleurs, Heusy se situe en périphérie sud de Verviers. Cette vallée sèche se développe selon un axe sud-ouest/nord-est. Elle est encadrée par deux grands axes routiers ; la nationale 657 qui délimite la partie haute selon un axe nord-sud et la nationale 672 qui marque la délimitation de la zone basse. La N672 suit un affluent de la Vesdre, le ruisseau de Mangombroux, aujourd'hui canalisé et enterré.

De la même façon que pour Hèvremont, le cadre de recherche se précise avec l'estimation du bassin versant de la vallée. La zone étudiée, le bassin versant, couvre un peu plus de 1 016 719 m<sup>2</sup>. (voir annexe : Planche I)



Fig. 30 : Carte de cheminement de la partie basse de Heusy

- ..... Parcours en voiture
- ..... Parcours à pied



## Exploration in situ

L'exploration sur site a commencé par la recherche de la résurgence de Mangombroux (identifiant karstique : 428-072z).

Ce phénomène karstique situé dans le bas de vallée n'est pas observable ou en tout cas difficilement discernable. Les observations sur site ont permis de retrouver des zones de champs très humides et quelques plantes plus adaptées à ce type de milieux. Un autre point à relever dans cette première partie de l'exploration, est qu'une des pertes liées à cette résurgence se situe quelques mètres plus en amont. L'agolina, ou chantoir de Mangombroux (identifiant karstique : 428-074z) était l'ancienne perte du ruisseau du même nom. Mais récemment elle a été obstruée et remblayée afin d'en faire un parking. Le ruisseau est également enterré et ne réapparaît que par points très disparates. Son lit est complètement construit et habité (Yvens, 1996) (Polrot, 2013).

La seconde partie de la visite concerne l'exploration des dolines à partir du chemin de Rouheid. Dans ce champ, encadré sur les quatre côtés par des habitations, ont été recensées 4 dolines différentes. Les deux premières dolines recensées sont la 428-159z et la 428-160z.

De la même façon que pour la résurgence de Mangombroux, elles sont difficilement visibles sur site. Cela s'explique par le fait que la première doline de « Grands Champs » (428-159z) fut tout d'abord remblayée en 2008 avec de la terre à la suite de son ouverture en 2005. Cependant, un premier rejeu de la cuvette absorbante est noté en 2011. Et en 2012, la fonte des neiges approfondit la doline. Elle présentait dès lors un diamètre de 3m sur 3. En 2013, le puits d'effondrement est complètement comblé et la pâture finit par masquer complètement la doline. La seconde doline, voisine de la première, est probablement due à l'activité karstique de la première. Et de la même manière que la première, elle n'est plus réellement visible à l'heure actuelle. Les deux dernières dolines du site sont marquées par la présence de grandes dépressions. La première (428-164z) fait approximativement 15 m de long pour 10 m de large. Dans l'inventaire des sites karstiques, il est émis comme hypothèse que ce site serait soit dû à un ancien site d'extraction ou à un glissement de la lentille superficielle de sédiments meubles. La seconde (428-165z) et dernière doline du site est encore plus remarquable. Cette même dépression est constituée de plusieurs renforcements et marque une démarcation franche avec la pente du reste de la prairie des « Longues Waides ». La doline (428-165z) parcourt presque toute la



largeur du champ, elle fait une cinquantaine de mètres de long sur trente de large. L'intérêt de ce site n'est pas seulement à regarder d'un point de vue géomorphologique, mais aussi d'un point de vue historique. En effet, la dépression a été un lieu d'extraction pour une briqueterie de la région. Et par après, le site aurait été nivelé, ce qui donne son caractère atypique à cette doline (Renier, 1924).

À la suite de la visite de ces premières dolines, l'exploration de Heusy s'est poursuivie dans sa partie haute, vers le lieu-dit « Ninglohé » et les différentes pertes karstiques qu'on peut y observer. À partir de l'avenue de Ningloheid, deux pertes étaient recensées dans l'atlas du karst (428-149z, 428-150z), mais toutes deux ne sont plus accessibles. La première fut remblayée et intégrée dans le réseau d'égouttage qui descend dans le vallon des « Grands champs ». On peut par ailleurs remarquer un vallon sec qui part de cette perte et s'étend vers le nord. Dans ce même vallon, on retrouve deux autres dolines qui ont été remblayées par un fermier. Les origines des dolines de « Grands Champs » seraient dues en partie à une exploitation minière. Sur la position de la doline 428-079f, on retrouve une plaque d'égout, trace du réseau d'égouttage dans lequel est reprise la perte située un peu plus haut. Pour la seconde perte, nous avons moins d'informations. Cette agolina est aménagée et un « bouchon » circulaire en béton vient la recouvrir (Dethier, 1982) (Polrot, 2002).

À partir de ces pertes, je suis parti vers le sud pour aller observer les autres karsts. Je suis tout d'abord tombé sur une doline bien marquée au milieu du champ (428-137z) ; celle-ci fait approximativement 7m de long sur 6 de large pour une profondeur de 1,5 m. La perte située un peu plus loin (428-138z) vient absorber la totalité d'un petit cours d'eau venant du sud, de la rue Moraifosse. De nombreuses plantes humides suivent la trace de l'écoulement du ruisseau, asséché lors des visites. Le ruisseau s'écoule le long de la haie, ce qui donne à la dépression une allure très étroite. Cet aspect allongé est probablement dû à un nivellement réalisé par un fermier. Dans le même champ, on trouve une résurgence accompagnée d'un vallon humide (428-156z). Cette résurgence fonctionne de manière temporaire et s'écoule vers le nord, le long du cimetière. Sa profondeur est de 3m (Bernard & Polrot, 1994) (Polrot, 2013).

En reprenant la rue Moraifosse, on arrive sur l'agolina de Moraifosse (428-080z), qui est une perte impressionnante. Elle est précédée par un petit vallon. Dans l'état actuel, elle est difficilement visitable en raison de nombreux arbres tombés en son sein. Il peut tout de même être relevé sa profondeur de 10 m. Elle est encore assez active et continue de

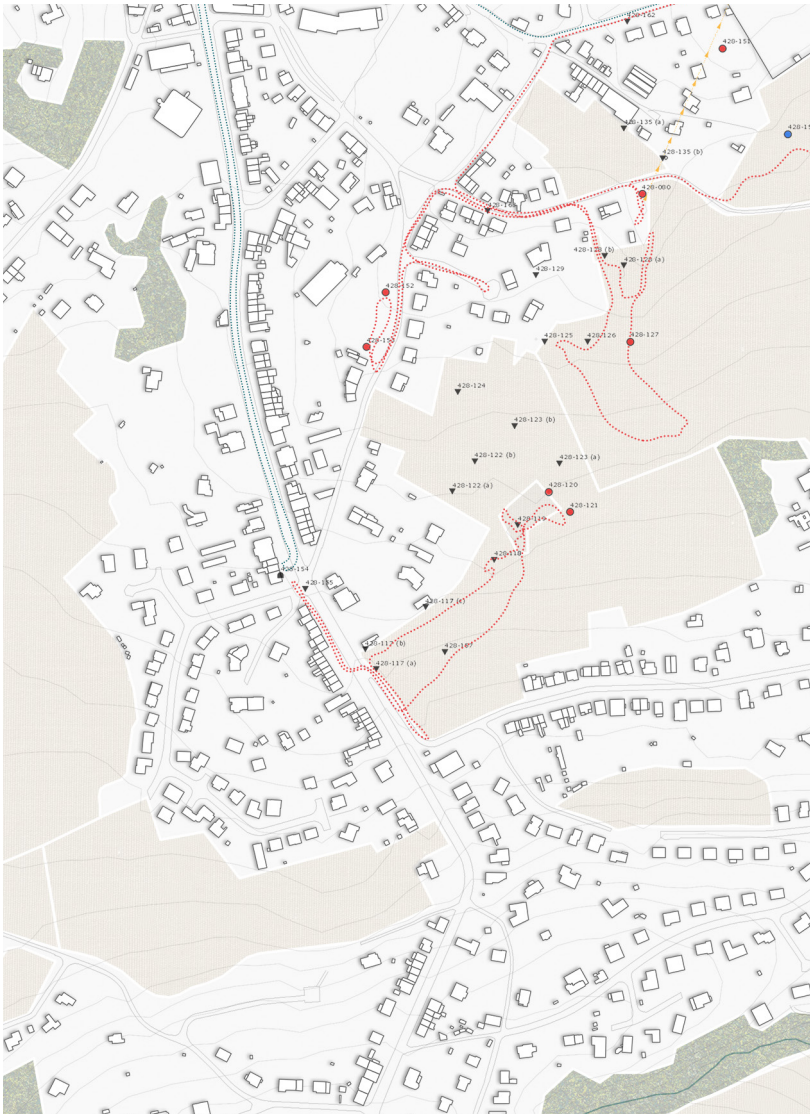


Fig. 33 : Carte de cheminement de la partie haute de Heusy

- ..... Parcours en voiture
- ..... Parcours à pied



s'approfondir par l'écoulement intermittent qui y passe. Cette perte est liée à la résurgence de Mangombroux.

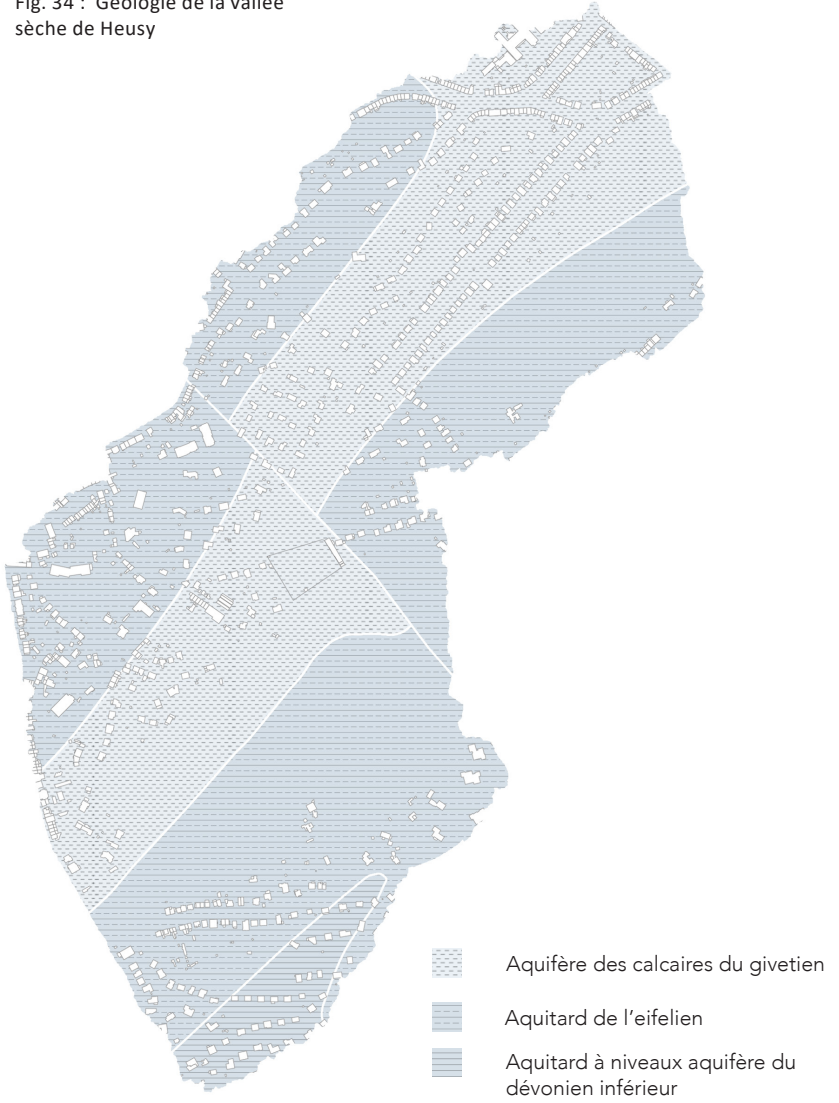
En amont de cette agolina, on retrouve également une autre perte et plusieurs dolines. Tout d'abord, deux petits affaissements (428-128a, 428-128b) marquent le flanc du vallon de Moraifosse. Au sein du vallon s'écoule un ru durant la période la plus humide de l'année. Si la période est trop sèche, le cours d'eau n'atteint pas l'agolina en aval et les eaux disparaissent dans le sol, au niveau d'une perte (428-127z), à l'endroit où un exploitant agricole dépose toute une série de déchets verts. On peut tout de même noter que, dans ce vallon, on ne retrouve pas seulement des déchets organiques, mais également de plus gros encombrants. À l'ouest de ce vallon, on peut observer deux autres dolines, dont la plus grande fait 55 m de long sur 15 m de large pour 1,5 m de profondeur (428-125z, 428-126z). Cette grande doline se trouve à la limite de champs et de jardins d'habitants. La doline est souvent remblayée par un fermier, à la suite des affaissements réguliers de sa partie sud.

Le long de l'avenue Nicolas Defrecheux, sont notées deux pertes dans un champ (428-152z, 428-153z). La perte la plus au nord de ce champ est canalisée, et peut être décrite comme un trou peu profond (1,2 m) qui reprend les eaux de pluie d'habitations en amont au moyen de trois canalisations en plastique. Selon un riverain, cette agolina serait stabilisée depuis plus d'une vingtaine d'années (interview d'un riverain, Polrot, 2013). La perte située plus au sud n'est plus visible. Elle a soit été remblayée ou a fait l'œuvre d'une confusion avec la perte nord du champ.

La dernière partie de l'exploration du karst de Heusy part de la N657 et de son croisement avec la rue des prés. Le début de la vallée sèche est composé de plusieurs dolines. Trois dolines (428-117a, 428-117b, 428-117c) suivent un axe sud-ouest/nord-est et longent une habitation et sa haie. La dépression se développe sur 50 m de long. Dans le même champ, on peut observer deux autres grandes dépressions. La dépression (428-118z), dite « doline de l'arbre », a un diamètre de 35 m pour une profondeur de 2 m. Cette grande doline est plantée de plusieurs chênes entre lesquels une cabane d'enfant a été construite. Au moins 4 points d'absorption peuvent y être dénombrés, ayant parfois jusqu'à 1 m de profondeur. Juste à côté de la « doline de l'arbre » se trouve la « grande fosse de Heusy » (428-119z). Cette doline suit le tracé des points précédents. Elle a une forme courbe et est également habitée de différentes essences d'arbres (sureau, noisetier, érables). Bien qu'en partie remblayée, elle fait tout de même 4m de profondeur et s'étend sur 50m de long et 24m de large (Renier, 1928) (Dethier, 1982) (Polrot, 2013).



Fig. 34 : Géologie de la vallée sèche de Heusy



## Géologie

La vallée sèche de Heusy se trouve sur de la roche calcaire du givétien, la formation de Névremont. Comme il a pu être décrit dans l'exploration du site, il est composé de très nombreux phénomènes karstiques qui définissent son paysage et le rendent unique. Ces différents phénomènes karstiques s'ouvrent souvent au contact lithologique. On les recense par ailleurs le long de la vallée sèche, bien qu'ils soient majoritairement situés dans la partie haute. Cette implantation des phénomènes karstiques s'explique entre autres par l'implantation parallèle de la vallée sèche par rapport au banc de calcaire (Coen-Aubert, 1974) (Dejonghe, 1987). (voir annexe : Planche III)

La formation de Névremont est décrite dans la région de Verviers comme composée de deux unités géologiques. Une unité inférieure, épaisse de  $\pm 20$  m, formé de calcaire gris clair, généralement fin, à fenestreae. Ces calcaires sont souvent laminaires et parfois bréchiques. Les différents degrés de l'unité sont affectés par la dolomitisation (Ibid.) .

L'unité supérieure est épaisse de 20 à 30 m et formée de calcaire mal stratifié à massif et riche en organismes récifaux, coraux divers (ex : rugueux, Hexagonaria) et autres. C'est la phase récifale de la formation qui peut être localement envahie par la dolomitisation. On peut également retrouver des niveaux légèrement gréseux ou argileux (Ibid.).<sup>2</sup>

La vallée sèche est encadrée par la formation de Pepinster datant du givétien. Elle est constituée de schiste vert à son sommet (1,5 m). En dessous de cette première couche, on retrouve une dizaine de mètres de schiste rouge à nodules de carbonates suivis par 24 m d'épaisseur de grès verts à débris de plantes. La dernière couche est composée de schistes et de grès fins de teinte dominante rougeâtre.

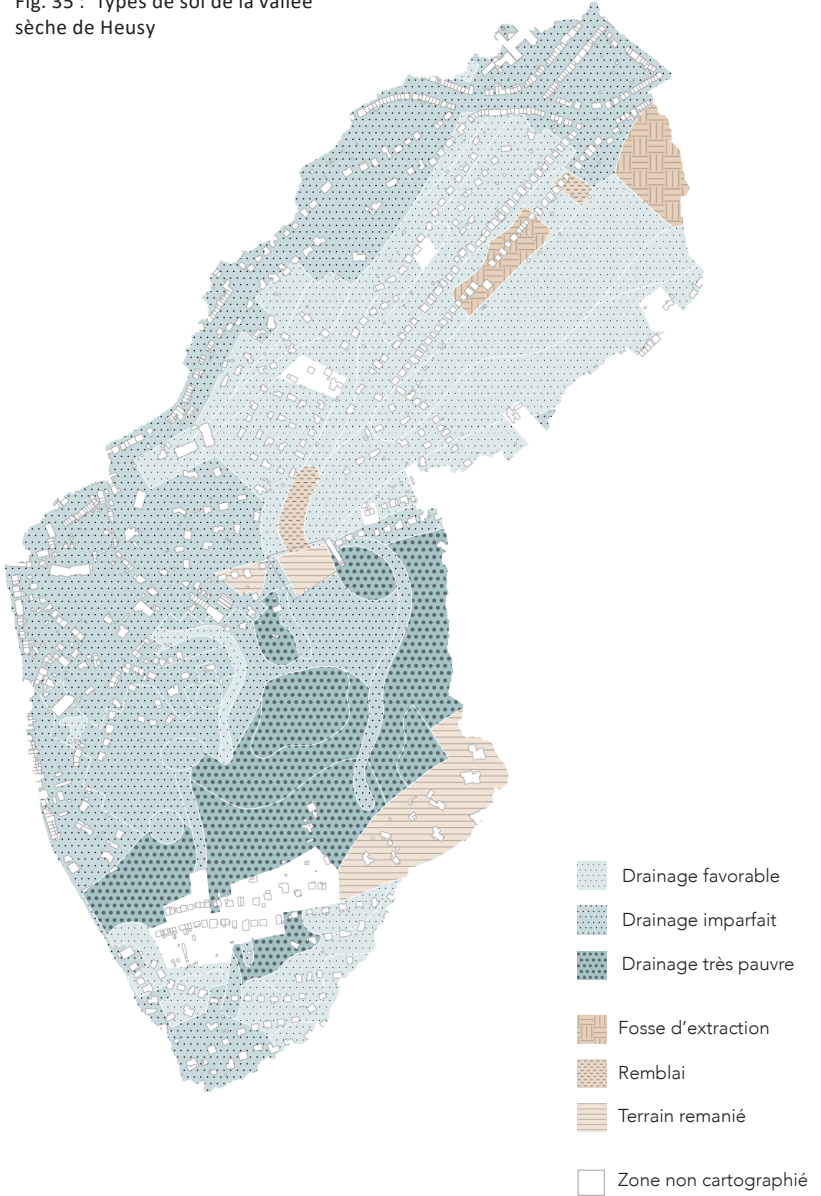
En rapportant les courbes de niveau sur ces couches géologiques, on comprend bien que l'encaissement de la vallée se fait sur les roches calcaires.

---

<sup>2</sup> Dolomitisation : phénomène par lequel le calcaire riche en carbonate de magnésium se transforme en dolomite



Fig. 35 : Types de sol de la vallée sèche de Heusy



Au niveau des types de sols, on retrouve de nouveau principalement des sols limono-caillouteux. Sur le haut de Heusy, on retrouve des sols limono-caillouteux à substrat schisto-gréseux ou substrat argileux. C'est également dans cette zone que le niveau de drainage est le moins bon (drainage imparfait modérément gleyifié et drainages assez pauvres fortement gleyifiés). Pour le reste, le niveau de drainage est catégorisé comme favorable non gleyifié. De nouveau, les faibles niveaux de drainages correspondent assez bien aux sols situés sur la formation de Pepinster. (voir annexe : Planche II)

Pour simplifier sur les roches calcaires, les sols sont assez perméables, tandis que sur les roches schisto-gréseuses les sols sont plus imperméables. La gestion des eaux doit se faire différemment en fonction du type de roches sur les différents types de sols. Notons que pour l'architecte, la gestion de l'eau doit se faire différemment en fonction de ce type de sol. Par exemple, sur les roches calcaires il est nécessaire d'éviter que l'eau ne s'infilte en dessous du bâtiment pour ne pas nuire à sa stabilité et dans le cas d'eaux usées, éviter la pollution des nappes aquifères.

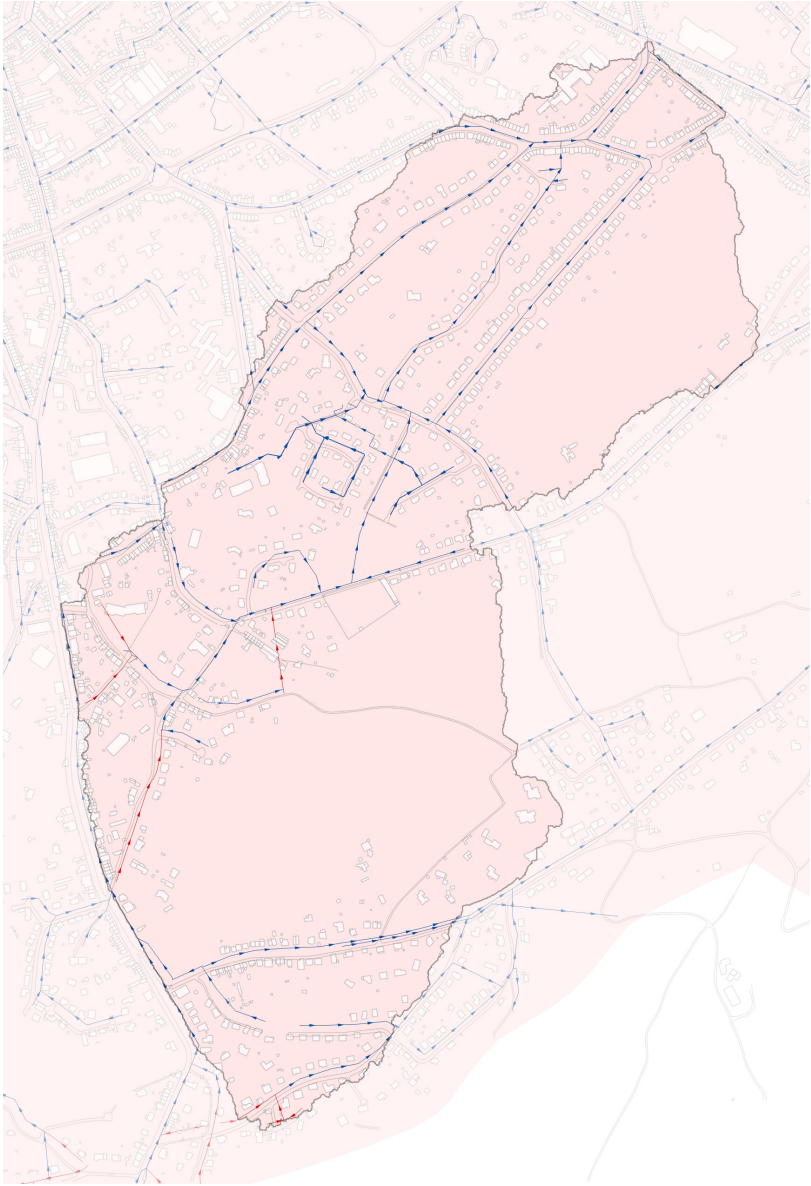


Fig. 36 : PASH de la vallée sèche de Heusy

Régime d'assainissement

Colletif

Autonome

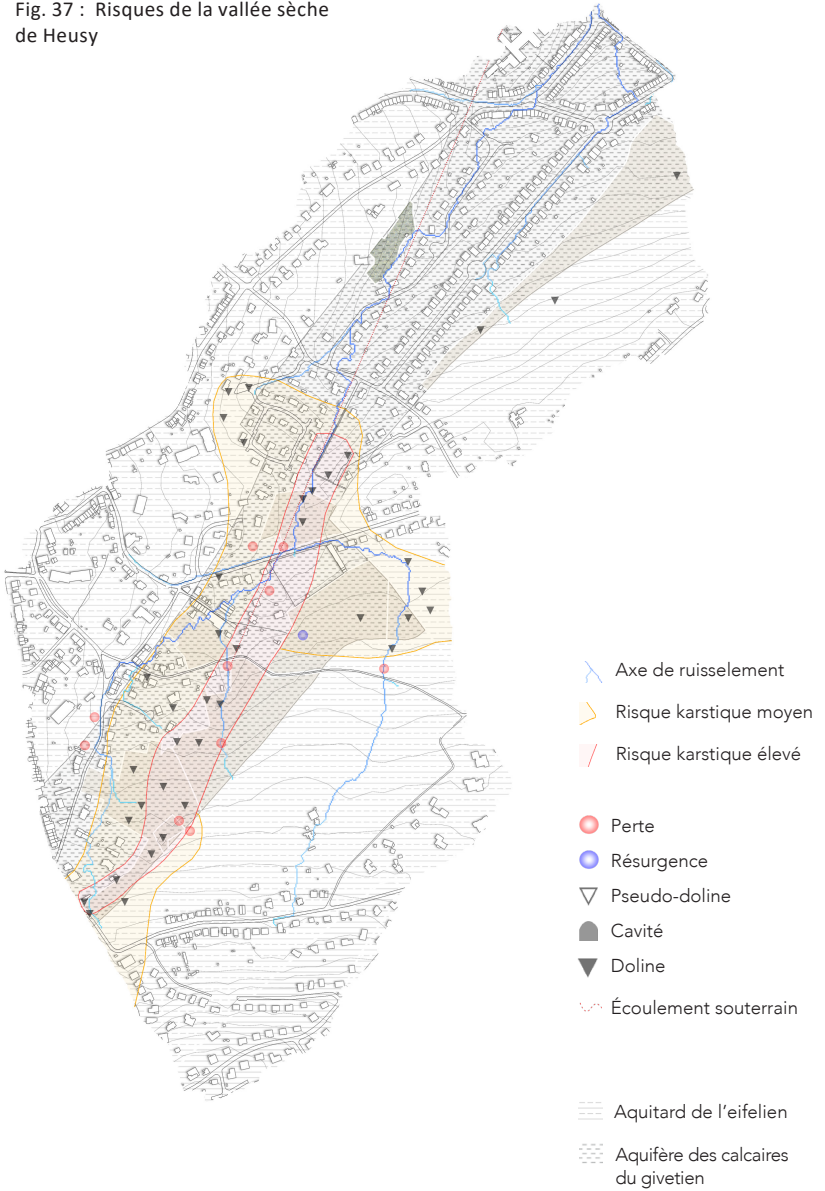


## PASH

En raison de la centaine d'habitations qui la compose, Heusy est repris en zone d'assainissement collectif. Le dénivelé de la vallée permet d'utiliser le système d'égouttage gravitaire et ramène les eaux usées jusqu'à la station d'épuration de Wegnez, plus ou moins 5 km en aval.



Fig. 37 : Risques de la vallée sèche de Heusy



## Analyse des risques

Les principaux risques observés dans la vallée sèche de Heusy sont les inondations par ruissellement et les risques d'effondrement liés à l'activité karstique. (voir annexe : Planche IV)

Lors de période de fortes pluies, on retrouve deux grands axes de ruissellements qui sont alimentés par l'eau provenant des champs en amont. Le premier vient des « Grands Champs » et suit par après la route en contrebas, pour rejoindre l'axe de ruissellement principal de la vallée. Les écoulements provenant de ce champ inondent par ailleurs souvent les habitations le long de la rue de la briqueterie. Lors des inondations de juillet 2021, les eaux ont traversé une des maisons situées au bas de la rue (Habitante de Heusy, 2022).

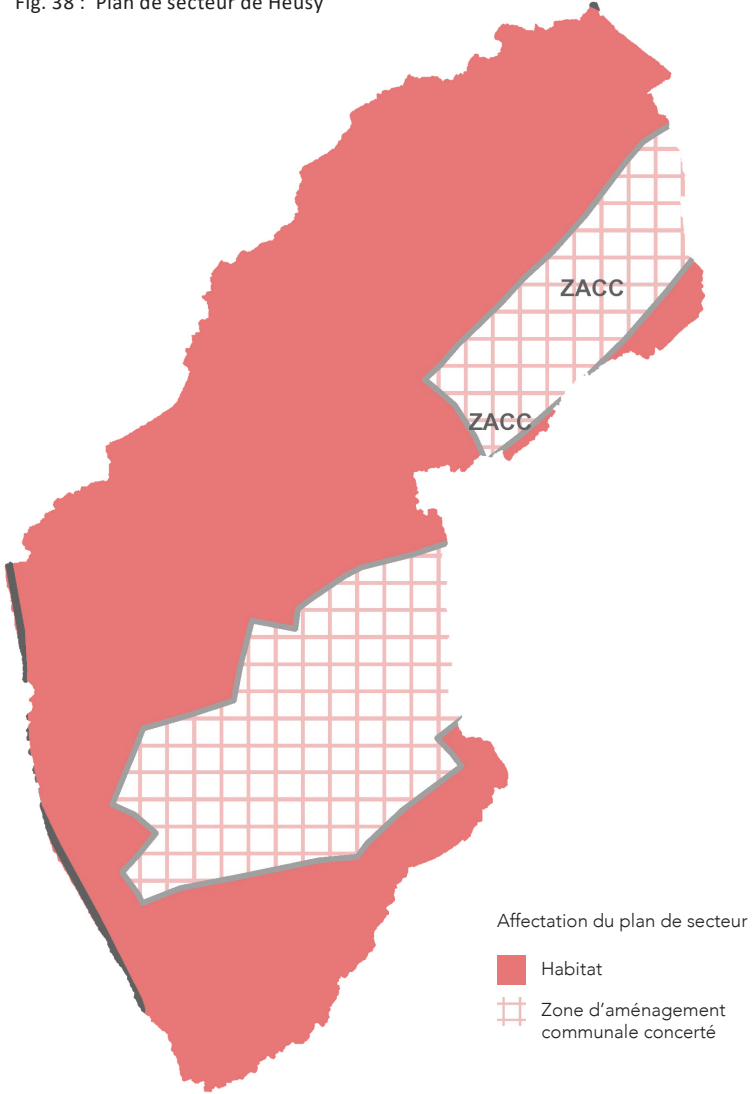
Cet axe principal commence au niveau du cimetière, où une multitude de plus petits ruissellements viennent se rejoindre. Il coule au fond de la vallée sèche en suivant la rue Jean-Baguette jusqu'à la nationale 672 où s'écoulait auparavant à l'air libre, le ruisseau de Mangombroux. La surface reprise par cet axe de ruissellement couvre entre 50 et 100 hectares dans les parties fortement urbanisées et le long de la rue Jean-baguette. La surface reprise à partir de la rue Jean Tasté est de 100 hectares. L'importance des surfaces drainées nous montre la potentielle quantité d'eau qui peut s'y écouler lors de fortes pluies et venir en surplus alimenter la Vesdre parfois surchargée. Le ruisseau de Rouheid et un de ses affluents, le ruisseau de Secheval, dit le Faweux, débordent souvent en amont de leur confluence. La partie du ruisseau de Mangombroux, canalisée, semble déborder seulement aux alentours du quai de la Batte et de la rue du vieil Hôpital, selon les cartes d'aléas d'inondations. Cependant lors des dernières inondations, il est réapparu en surface inondant le fond de vallée.

Ces différents ruissellements ont tendance à s'écouler le long des haies bordant les champs de la partie plus rurale de Heusy. Dès que ces ruissellements arrivent dans des espaces plus urbanisés, ils suivent les différents axes routiers, qui viennent canaliser les eaux.

Comme expliqué plus haut, d'autres risques dans la région sont à prendre en compte en raison de sa géologie particulière. Dans la vallée de Heusy se trouve une zone de risque élevée, assez étendue. Bien que la construction doive y être évitée, de nombreuses maisons y sont bâties (par exemple : rue Hodiamont ou au clos des Avelines). Une zone de risques moyens comprend aussi une grande partie de la vallée. Ces



Fig. 38 : Plan de secteur de Heusy



deux zones couvrent plus ou moins 45 % de la vallée sèche de Heusy et reprennent en partie un peu plus de 130 habitations. En dehors des champs qui sont repris comme ZACC (zone d'aménagement communal concerté), toute la vallée sèche est reprise en zone d'habitat. **Devrait-il y avoir une modification du plan de secteur par rapport au risque karstique ?** (voir annexe : Planche V)

*« La Région wallonne est couverte par 23 plans de secteur, adoptés entre 1977 et 1987. » (Service Publique de Wallonie, 2022)*

À cette époque, le risque karstique était peu pris en compte pour la détermination des zones d'affectation des sols. Les premiers relevés du karst ne datent que du début des années nonante (Service public de Wallonie, 2022). Ce qui a eu pour conséquence l'autorisation de nombreux lotissements en zone de risque karstique élevé et modéré. Il faut également garder à l'esprit que de nombreuses habitations préexistaient le plan de secteur et les relevés du karst. Avec nos connaissances actuelles, l'affectation des sols pourrait être revue quant à la constructibilité de certaines zones du plan de secteur, en particulier dans la zone de risque élevé. L'exemple de l'étude de lotissement d'Avister illustre déjà ce propos. Cette question se pose de nouveau dans ce deuxième cas d'études.

Les risques ne sont pas à observer du seul point de vue humain. En effet, le karst est un lieu de biodiversité important qui offre également des qualités paysagères uniques. Lors de l'exploration de site, un grand nombre de ces spécificités n'étaient plus perceptibles pour cause de remblayage. La préservation de ces milieux est importante et il faut pouvoir trouver un juste équilibre dans la conservation de ces espaces.



### Entretien avec l'habitant (impact sur le milieu habité)<sup>3</sup>

Un entretien avec une habitante de Heusy a pu apporter un autre regard sur la vallée sèche de Heusy, comme pour Hèvremont, et une compréhension supplémentaire.

Bien que lors des inondations, l'habitante n'était pas présente, des membres de sa famille ont vécu les événements (enfants et parents), comme d'autres voisins proches. L'habitante vit rue de la briqueterie. Sa maison n'a pas été directement touchée, mais du côté opposé de la rue (situé le long des champs), de nombreuses maisons ont été impactées par les forts ruissellements. **Une des maisons voisines a même été traversée par un axe de ruissellement en provenance des parcelles agricoles situées en amont.** Ils ont dû ouvrir les portes avant et arrière afin de laisser passer l'eau et ainsi limiter les dégâts. Les habitations, de ce côté de la rue, sont souvent inondées. La raison évoquée serait la suppression, au fil du temps, des haies qui retenant les eaux de ruissellement du champ. La commune est actuellement en train d'en remettre. De son côté de la rue, ils doivent faire attention aux égouts, ces derniers débordants souvent. Le ru qui s'écoule dans le fond de la vallée a complètement inondé Mangombroux. La maison de cette habitante daterait des années 70, comme la majorité des maisons de la rue. Elle ne possède pas de citerne d'eau de pluie ou autre. La commune ne donne pas vraiment d'indications sur des comportements à avoir quant à la gestion des eaux. Les eaux de pluie sont probablement déversées également vers les égouts.

Les parents de l'habitante vivent à Pepinster. Ils ont été fort impactés par les inondations et ont été pris de courts par la montée des eaux. La solidarité de la population locale les a beaucoup aidés lors des événements, ainsi que lors de la reconstruction de leurs lieux de vie. (Les voisins et jeunes des environs ont pu ainsi les aider pour se mettre à l'abri lors des événements).

---

<sup>3</sup> Un des points qui serait à améliorer dans un travail ultérieur est la rencontre avec les acteurs locaux. Au cours de cette étude, seulement deux habitants ont répondu à mes questions dans un échange ouvert portant sur leurs régions. Les premières réponses qui ont pu être récoltées au cours de ces deux entretiens sont très intéressantes, mais ne peuvent être généralisées au territoire au vu du faible nombre de participants. Un second point d'amélioration dans cette partie serait la rencontre d'acteurs publics (communes, urbanistes...) afin d'avoir un autre regard sur la région et ses perspectives d'avenir.

Contrairement à l'habitant d'Hèvremont, l'habitante de Heusy ne connaît pas le type de sols sur lequel sa maison est bâtie et n'a pas non plus connaissance de phénomènes karstiques situés dans les environs. Les risques et dégâts des inondations sont quant à eux plus importants. Le croisement des données nous donne une première hypothèse. Les axes de ruissellements sont plus importants et ont un débit plus fort en raison d'une surface de terrain reprise plus grande. Pour ce qui est des eaux grises et des eaux de pluie du ménage, ces dernières sont évacuées par le réseau d'égouttage gravitaire. Le manque d'informations données par la commune soulève moins de problèmes, en rapport au karst, en raison du système d'égouttage collectif. La commune s'occuperait également de replacer des haies, mais la confirmation n'a pas pu se faire à travers les observations de site. (voir annexe : Entretien\_Habitante de Heusy)

## Stratégies

La vallée sèche de Heusy est composée d'un maillage très diversifié : des espaces plus densément urbanisés que d'autres, des champs avec de grandes parcelles et d'autres plus réduits. La grande différence de typologie induit d'opter pour de nombreuses stratégies différentes. Pour ce qui est de la partie plus agraire, la stratégie d'aménagement de Hèvermont peut-être continuée. Mais en raison de risques plus importants, dus au nombre d'habitations présentes, l'infiltration des eaux de ruissellement sera à éviter sur les zones calcaires. (voir annexe : Planche X, Planche XV à XX)

### Aménagement des pertes et de la partie haute de la vallée sèche

Comme évoqué auparavant, la partie haute de la vallée sèche de Heusy est assez bocagère.

De même que pour la vallée de Hèvermont, un système de **diguettes et de dépressions** permettant de recréer des zones humides et des espaces tampons pour de la rétention d'eau est mis en place. Les dépressions sont cependant réparties en deux catégories. Les dépressions desti-



Fig. 39 : Aménagement de la partie haute de Heusy





Fig. 40 : Coupe des pertes de Heusy

nées aux infiltrations en plus de leur fonction de rétentions d'eau et les dépressions servant seulement à de la rétention et à ralentir le ruissellement sans infiltrer les eaux météoriques. Les premières sont les mêmes que celles développées dans la partie de Hèvremont et sont donc faites par les mêmes moyens. En ce qui concerne les secondes, une étape dans le processus de conception doit être ajoutée : le tassage du sol de la dépression. Le compactage des terres permet de rendre le sol plus imperméable. Pour augmenter le degré d'imperméabilisation, on peut ajouter un peu d'argile avant de tasser le terrain.

Ces dépressions tassées sont proposées sur les parties calcaires de la vallée sèche afin de limiter la dégradation des roches en sous-sol.

Dans ces champs sont également intégrées deux **zones de rétention temporaire**. Elles n'ont pas la même ampleur que celle de Hèvremont, mais permettent tout de même de retenir une certaine quantité d'eau pouvant être réutilisée pour irriguer les champs de la vallée sèche située en contrebas. Les sols de ces zones sont également imperméabilisés avec de l'argile et le tassement du sol. Une **digue végétalisée** de 1 m de haut permet de retenir les eaux et de dévier le flux excédentaire dans une noue le long du chemin de Rouheid.

Les axes de ruissellements s'écoulant le long de l'avenue de Ningloheid, du chemin de Rouheid et de l'avenue Nicolas Defrecheux sont repris dans des **noues arborées** longeant les axes routiers.

La végétation de ces noues comprend différentes strates végétales. Le choix des essences se fait parmi les différentes espèces hygrophiles ou aquatiques qui sont adaptées pour ce milieu. Pour la strate arbustive et arborescente, les essences à favoriser sont : le saule, l'aulne glutineux, le frêne, ou encore le chêne pédonculé. Ce dernier doit cependant être placé dans les secteurs les moins humides.

Pour la strate herbacée, les essences pouvant être choisies sont par exemple : l'oseille des marais, la moulinière bleue, la cardamine des prés, etc. Dans les zones les plus humides, on choisira plutôt : l'iris des marais, la menthe aquatique, la salicaire, le roseau, ou encore les carex... Cette liste est non-exhaustive et de nombreuses autres essences de plantes peuvent être utilisées. Les essences à favoriser sont les essences endémiques afin d'avoir une meilleure intégration dans le paysage.

Au croisement de l'avenue Nicolas Defrecheux et de l'avenue du tennis, est implanté un parc humide qui peut à la fois retenir l'eau en période de fortes pluies, mais peut continuer d'être utilisé le reste du temps par les



Fig. 41 : Coupe noue en espace urbain

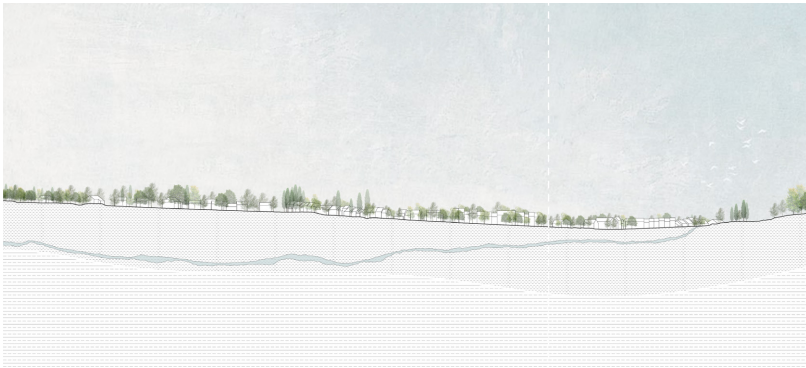


Fig. 42 : Coupe de la résurgence de Heusy

habitants des environs.

Les zones habitées du haut de la vallée sèche jouent également un rôle dans la rétention d'eau. De nombreuses maisons et autres bâtiments possèdent des toitures plates. De la **rétention en toiture** est mise en place au travers de sa végétalisation. Les citernes d'eaux de pluies peuvent être de leur côté multipliées. Elles constituent un moyen de rétention de l'eau en vue d'une utilisation ultérieure. Elles permettent donc de capter une partie du ruissellement, surtout lors de fortes pluies suivant une période de sécheresse. Pour ce faire, la capacité de ces citernes doit être conséquente et leur utilisation suffisamment fréquente pour maintenir un volume libre. On peut également installer un système de trop-plein afin qu'elle garde en permanence un volume vide qui puisse servir de tampon durant de grandes intempéries.

### Aménagement de la résurgence et de la partie basse de la vallée sèche

Pour la partie basse, les espaces agraires sont repris dans la parcelle des « Grands Champs ». Le long de cette parcelle agricole est mis en place une **bute arborée** qui permet de protéger les habitations qui la longent, des ruissellements de surfaces. La végétation de cette bute permet de la structurer. Les eaux reprises sont alors amenées dans une zone tampon située au point bas du champ. Elles sont ensuite redirigées dans un **réseau de noues** qui rejoint le point bas de la vallée sèche et le ruisseau de Mangombroux.

Un des axes de ruissellement principal de la vallée sèche passe par la rue Jean Baguette. Il est repris par des **fossés** situés de part et d'autre de la route, l'espace disponible étant trop étroit pour mettre en place des noues. Ces deux fossés débouchent sur un **parc humide** similaire à celui situé dans la partie haute. **Une digue et une dépression** tassée y sont aménagées afin de rediriger les flux d'eau vers le bas de la vallée en évitant les habitations de l'avenue Jean Tasté.

De la même façon que pour la partie haute, des **citernes d'eaux de pluies** et des **toitures végétalisées** sont implantées dans les parties urbanisées.

Dans différents îlots de la vallée sèche est également mis en place un **système de dépressions imperméables** et de **haies** le long des délimitations de parcelles. L'implantation au milieu de parcelles permet de reprendre le ruissellement des îlots et de ralentir son écoulement sans pour autant infiltrer ou en tout cas très peu. La disposition centrale

permet également d'éviter d'augmenter les risques à proximité directe des habitations.

Le dernier point de la vallée sèche de Heusy est la résurgence de Mangombroux. La stratégie envisagée pour cette zone consiste en une **densification de la végétation** au niveau de la résurgence et la création d'un **espace immergeable** dans la partie inférieure du champ. La végétation intégrée prend en compte le niveau d'humidité important de l'espace. Des essences similaires à celles des noues arborées ont été réutilisées. Dans le cas de surplus de débit, l'eau est évacuée entre les annexes pour retrouver les autres axes de ruissellement en évitant au maximum les habitations.



Fig. 43 : Vue espace urbain

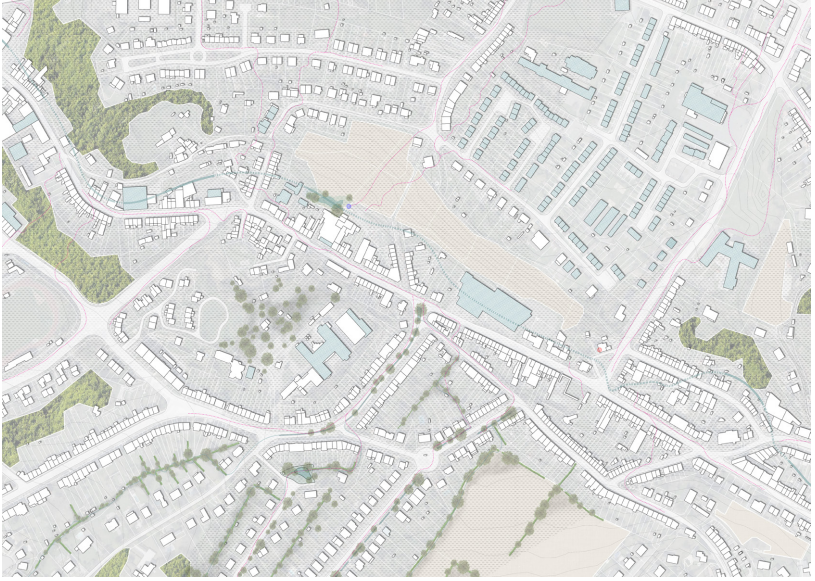



Fig. 44 : Aménagement de la partie basse de Heusy 



Fig. 45 : Aménagement de la partie intermédiaire de Heusy

## Interview des experts et perspectives d'avenir

Afin de compléter cette recherche, deux experts ont été rencontrés : le professeur en hydrogéologie et géologie de l'environnement, Alain Dassargues ainsi que l'ingénieur agronome et docteur en environnement, Aurore Degré. Les sujets abordés lors de ces entretiens concernaient les écoulements souterrains et de surface, les risques karstiques liés aux terrains de la région, les aménagements et stratégies pouvant être mis en place ainsi que les limites et perspectives d'avenir.

Lors de l'entretien avec **Alain Dassargues**, plusieurs points importants ont été évoqués. Les formations géologiques regroupées dans les aquifères des calcaires du givétien sont reconnues comme étant karstiques. La façon dont la vallée se positionne par rapport à ces formations caractérise l'implantation des phénomènes karstiques (repartie tout du long de la vallée ou au niveau situé à la jonction de formation). La karstification est due à la dégradation des roches par l'eau, mais cette dégradation peut être influencée selon le type de sol sur lequel l'eau a pu s'écouler. Si elle s'écoulait sur des calcaires, le niveau d'acidité serait diminué et par la même occasion la karstification. (voir annexe : Entretien\_Alain Dassargues)

*«... le fait de passer d'une nature géologique, gréseuse, schisteuse à des terrains calcaires accentue la karstification...» (Annexe Entretien, pp. 77)*

La karstification **peut également être accentuée par le rejet des eaux en provenance des habitations qui s'infiltreraient directement dans le sol**. Il faut faire attention à ce que cette dispersion ne se fasse pas à proximité de leurs habitations pour diminuer les risques d'affaissement de terrain et affaiblir ainsi la structure de la maison. Pour limiter l'impact que le karst peut avoir sur la stabilité des habitations, il faut privilégier l'utilisation d'un radier complet comme fondation. Cela permet de répartir les efforts sur une plus grande zone de terrain et donc de limiter l'influence qu'aurait un effondrement partiel du sous-sol sur la structure du bâtiment.

Les risques liés au karst dans la région de Heusy et Hèvremont sont plutôt des affaissements de terrain. Ils peuvent se dérouler selon deux dynamiques. Dans la première l'affaissement se fait au fil du temps. La seconde est un « Collapse », un événement brusque pendant lequel le toit de la cavité s'effondre ne pouvant plus retenir les charges du sol situées au-dessus. Les deux cas dépendent du type de sol. Le premier

sera plutôt observé sur des sols sableux et le second dans des zones argileuses.

Dans la région de Herve, sur l'autre versant du bassin de la Vesdre, ce sont plutôt des glissements de terrain qui peuvent être observés en raison de la présence d'une couche de smectite, dites « couche savon ». **Il faut donc également éviter d'infiltrer les eaux dans la région** pour éviter d'augmenter les pressions d'eaux souterraines, ce qui favorise le glissement de terrain.

Sur le bassin versant, on peut observer des vallonnements différents. Cela s'explique de nouveau en fonction du type de roche. Dans des régions calcaires, les versants sont plutôt raides alors que dans des régions gréseuses ou schisteuses, le dénivelé est plus « doux ». Le faible niveau de pente indique souvent la capacité du sol à provoquer des glissements de terrain.

L'infiltration doit être réalisée avec précaution pour éviter d'augmenter les risques géologiques, qu'il s'agisse de glissements de terrain ou de phénomènes karstiques.

Pendant l'entretien avec **Aurore Degré**, l'importance de comprendre la structuration du sol et la capacité de drainage qui peut varier en fonction de chacun de ces différents sols ont été évoqués. Cette capacité de drainage influence l'infiltration des eaux jusqu'à la géologie. Il ne sert pas beaucoup d'essayer d'infiltrer dans des sols évalués à drainage imparfait ou ceux d'un niveau inférieur en raison de leurs trop faibles capacités d'infiltration. (voir annexe : Entretien\_Aurore Degré)

Pour que l'infiltration des eaux soit efficace, il faut que l'eau puisse s'écouler lentement ou stagne sur place. Pour cela, jouer avec le relief est une bonne option, mais il faut cependant faire attention aux sédiments charriés par le ruissellement. Lors de la stagnation de l'eau, ces derniers peuvent venir colmater la porosité du sol. Pour lutter contre ce phénomène, il faut végétaliser avec des essences qui renouvellent leur système racinaire régulièrement.

Au niveau de l'agriculture, les **prairies** permettent une bonne infiltration des eaux contrairement aux champs.

*« La grosse différence du maïs par rapport à la prairie, c'est qu'en termes de couverture du sol pendant l'année, le maïs, on va le semer fin de printemps, donc plutôt vers le mois d'avril et on va le récolter vers le mois*

*d'octobre. Donc ça veut dire que si tu ne fais que du maïs et le problème là, c'est qu'ils font beaucoup des monocultures de maïs entre la récolte au mois d'octobre et de l'autre côté de l'année le semis de maïs d'après, tu as tout l'hiver ta terre qui est nue.» (Annexe Entretien, pp. 147)*

L'occupation du sol pendant l'année est le problème soulevé. Lors des périodes hivernales, la terre est à nu et sa surface va geler. La croûte de glace qui se forme va refuser l'infiltration. Lors des périodes où le champ de maïs est cultivé, la couverture du sol reste faible et représente un autre problème. Ce qui n'aide donc pas à la rétention ou à l'infiltration d'eau.

Pour augmenter la surface du sol occupé, des techniques de sous-semis qui peuvent même favoriser les cultures adjacentes existent. Cependant, bien que cette technique puisse être bénéfique pendant les périodes humides, dans le cas de sécheresse, les différentes plantes doivent se partager le peu d'eau du sol.

Une autre option est celle d'augmenter le relief entre les rangs de cultures en creusant de petits fossés.

L'axe de plantation des cultures est mis en avant pour solutionner une partie des problèmes. Actuellement, l'agriculteur choisit l'axe de plantation des cultures afin de limiter le nombre de passages des véhicules agricoles sur la parcelle. En modifiant les axes d'exploitation, les sols seraient alors plus compactés, ce qui est contre-productif face à l'infiltration. Il est également question de sécurité, pour éviter que le véhicule ne se renverse s'il doit cultiver perpendiculairement au sens de la pente.

Dans ces zones agricoles, la **réimplantation de haies** est évoquée pour ralentir le ruissellement. Il faut à nouveau regarder comment les implanter afin qu'elle ne gêne pas l'exploitation du champ.

Une des causes des problèmes actuels de ruissellement des parcelles agricoles est liée au remembrement de ces dernières.

*«Tu as un département qui s'appelle l'aménagement foncier rural et ce sont eux qui ont fait les remembrements après-guerre. À l'époque, l'idée c'était d'avoir les parcelles les plus grandes possibles, justement pour permettre la mécanisation de l'agriculture et augmenter les rendements.» (Annexe Entretien, pp. 159)*

Cela a eu pour effet la suppression d'un grand nombre de haies qui délimitaient les parcelles et par la même occasion d'augmenter les ruissellements des parcelles agraires.

Dans le contexte urbain :

*«... les égouts ne sont pas dimensionnés pour reprendre le ruissellement et donc il faudrait qu'il y ait un réseau d'acheminement de l'eau de ruissellement, qui retrouve in fine la rivière, mais qui se passe en surface par un réseau de noues, de fossés.» (Annexe Entretien, pp. 156)*

Pour les espaces urbains, la végétalisation des toitures est aussi une méthode de rétentions de l'eau, mais son impact est assez faible en raison des petites surfaces qu'elle reprend, surtout dans le cas de rénovation. Les citernes d'eaux de pluie permettent une plus grande rétention, mais de la même façon que les toitures végétales, elles ne reprennent souvent que les premières minutes de pluies. Il faudrait qu'elles soient vidées en prévision pour avoir une plus grande influence.

Les sécheresses sont également des cas qui risquent de se multiplier et s'intensifier avec le réchauffement climatique. On distingue par ailleurs trois niveaux de sécheresse.

- Les sécheresses météorologiques : Le fait qu'il ne pleut pas pendant quelques un mois ou deux pendant la période estivale. Elle n'a pas de grandes conséquences.
- Les sécheresses édaphiques : Les plantes endémiques commencent à souffrir du manque d'eau. La zone explorée par leur racine ne contient plus suffisamment d'eau.
- Les sécheresses géologiques : Descente du niveau des nappes aquifères, ce qui a par exemple comme conséquence de ne plus restaurer les stocks d'eau. Ce type de sécheresse s'étale plus sur une année complète.

Les premières parties du territoire à souffrir sont les zones avec un sol peu profond et un haut niveau de drainage, c'est-à-dire, peu de capacités de rétentions d'eau. Les versants sont aussi souvent plus sensibles que les plateaux en raison de la différence d'épaisseur de sol due à l'érosion.

*«... les moments clés de sécheresse dépendent vraiment de la croissance des plantes et des racines. La prairie sera beaucoup moins vite en stress que le maïs ou que le froment.» (Annexe Entretien, pp. 175)*

Il faut considérer qu'il y aura encore des débordements et inondations comme celles de 2021. Aucune méthode ne permettra de les éviter, mais la mise en place de différentes stratégies peut réduire l'impact de tels événements.

La prise de conscience des écoulements et des risques d'inondations a aussi une part importante à jouer dans la limitation des dégâts.

*«... le syndrome aussi dans ces zones très bâties, c'est qu'on oublie qu'il y a un écoulement naturel, etc. Que ce n'est pas qu'un égout... que c'est une petite rivière ! Petite rivière, mais qui dessert un bassin versant énorme...» (Annexe Entretien, pp. 94)*

*«... c'est de se rappeler où l'eau passe en surface quand ça coule... C'est tout l'enjeu. Respecter le trajet naturel.» (Annexe Entretien, pp. 164)*

*«... c'est encore plus risqué d'oublier dans ces zones karstiques parce que l'eau ne passe pas là systématiquement à chaque pluie» (Annexe Entretien, pp. 165)*

Le travail de mémoire peut se faire à la fois au travers de la toponymie des rues ou des lieux-dits, par des marques rappelant le passage d'eau lors des crues et le niveau atteint, ou encore avec des explications le long des noues et autres stratégies paysagères employées.

Pour faire face au changement climatique, il nous faut **repenser notre façon d'habiter le territoire**, de réfléchir l'aménagement du territoire à la fois dans les espaces urbains, ruraux, mais aussi dans les parties plus productives.

La réflexion qui doit être amenée par les aménageurs, les pouvoirs publics et autres doivent être aidés par l'intervention d'experts dans le domaine. Qu'elles soient pour les inondations, les périodes de sécheresse ou pour d'autres raisons, les stratégies choisies peuvent avoir toute une série d'impacts sur des domaines dont les urbanistes, les architectes, n'ont pas forcément une compréhension détaillée. Et c'est **ce croisement des expériences qui permet d'avoir une compréhension plus fine du territoire, de ses enjeux divers et variés. C'est cela qui permet d'aboutir à un projet d'avenir pour nos régions inscrit et adapté au nouveau paradigme qu'imposent les changements climatiques.**







# Conclusions



Le cheminement de recherche, la réflexion qui anime cette étude nous fait passer par différents niveaux de compréhension des enjeux du territoire. La première étape a été de fixer un cadre pour comprendre et cibler le contexte dans lequel nous vivons. C'est-à-dire, le contexte des inondations de juillet 2021 et des changements climatiques.

Ces inondations ont fortement marqué les esprits et pour éviter qu'un événement aussi intense se reproduise à l'avenir, une recherche des causes a été lancée. De manière globale, il a été mis en évidence que les changements environnementaux vont fortement marquer et modifier nos façons de vivre. Les répercussions de ces changements se font ressentir chez nous principalement par l'accroissement des événements extrêmes comme les inondations ou les périodes de sécheresse. Il est important de garder à l'esprit que l'urbanisation croissante de nos régions n'améliorera pas la situation. Les lits majeurs habités sont particulièrement vulnérables aux événements extrêmes. L'augmentation de ses événements joue également fortement sur l'accroissement des disparités entre les niveaux sociaux économiques faibles, moyens et élevés.

Les impacts du changement climatique se font bien sûr ressentir dans de nombreux autres milieux. Par exemple, dans les régions de la cryosphère, la fonte des glaciers modifie les écosystèmes locaux, diminue la ressource en eau douce et les moyens de subsistance dans ces régions (Caretta, et al., 2022).

Bien que de telles perturbations peuvent sembler lointaines et hors de notre cas d'étude, il faut garder à l'esprit l'influence que peut avoir chaque changement sur la biosphère. La modification d'un paramètre dans un cycle modifie les équilibres, ce qui cause une nouvelle perturbation. Un des faits observables actuellement est la migration des espèces en raison des changements occasionnés sur leurs milieux naturels (variations des taux d'humidité et de températures). Bien sûr la compréhension de toutes les influences reste complexe, voire impossible dans leur ensemble.

En raison de ces changements de milieu, il faut donc revoir notre façon de penser et concevoir le développement territorial. Nous devons anticiper les trajectoires d'adaptations au travers de solutions adéquates, complémentaires qui pourront évoluer dans le temps.

Les « solutions » aux problèmes d'inondations étaient souvent dirigées vers un contrôle des flux d'eau au moyen d'ouvrages d'ingénierie

importants. Il faut cependant revoir cette façon de penser et réfléchir à multiples stratégies de résilience qui permettent de vivre plus en accord avec la présence de l'eau. Développer une répartition des efforts plus importante afin de limiter les impacts négatifs dans les cas d'inondation dépassant les capacités des ouvrages techniques.

Pour concevoir des stratégies adéquates dans chacune des deux zones de projet, il fallait tout d'abord comprendre la région dans laquelle elles s'inscrivent, la Vesdre et son bassin versant.

Comme expliqué dans la partie « description », ce bassin versant s'est développé grâce à ses ressources, à la fois issues de la force de l'eau ou encore de sa géologie particulière. La période industrielle de la région de la Vesdre et son essor économique font partie du passé. Le paysage d'aujourd'hui a été construit sur ce passé et garde ses traces historiques : anciennes usines, mines et terrils, carrières...

Ce paysage est issu du sol, de cette matière première qui a pu servir à construire et habiter le bassin versant. Pour bâtir ces différentes constructions, on a extrait les roches, la matière première à proximité, ce qui change en l'occurrence la typologie du bâti. Briques, moellons de différents types de roches nous renseignent sur la variété des sols du bassin versant.

**Ces différentes roches n'ont pas seulement défini la typologie des habitations, mais elles ont également caractérisé les écoulements, le ruissellement qui s'est fait dans toute la vallée.** La variation des niveaux de perméabilité des sols et des roches crée un jeu d'écoulement de surface disparaissant parfois en souterrain pour réapparaître plus loin. Ce jeu fait au moyen de phénomènes karstiques et de l'altération des roches modifie l'horizon. **La création de tels phénomènes est bien souvent assez lente comparée à une échelle de temps humaine.** C'est pourquoi il arrive que ces écoulements caractéristiques des régions calcaires soient oubliés et se fassent connaître à nouveau lors d'événements extrêmes comme les inondations de 2021, ce qui a pour conséquences de retrouver l'écoulement de surface qui a pu être habité entre temps et de l'inonder.

À la première question de recherche : « Quel est le rôle du projet par rapport aux phénomènes karstiques lors des inondations sur le bassin versant de la Vesdre ? » nous pouvons répondre que, dans le territoire étudié, les phénomènes karstiques d'une part accélèrent les dynamiques de ruissellement et d'autre part participent à le faire oublier. Cette

perte de conscience augmente l'impact des inondations. Un projet pour ce territoire devrait donc, d'une part, aider à ralentir le ruissellement grâce à une série de stratégies territoriales et, d'autre part, faire face à la perte de conscience à travers la mise en place d'un nouveau paysage. Ce paysage devrait être capable de dénoncer la présence de dynamiques souterraines particulières et ainsi participer à la construction d'une nouvelle « conscience territoriale ». En quelque sorte, les différentes stratégies doivent pouvoir jouer un rôle pédagogique. On retrouve déjà à certains endroits des explications sur les dynamiques karstiques (par exemple pour l'agolina de Moraifosse). Les indications nous parlent du karst et des risques de pollution qu'il peut y avoir au travers de la géologie calcaire. Il pourrait être opportun de profiter du même système pour développer cette nouvelle « conscience territoriale » autour des dynamiques de ruissellement particulières dans la région.

La seconde question, plus générale, de ce travail concerne la façon dont nous devons habiter (et transformer) les régions karstiques dans le futur. Les plans en vigueur ne semblent pas prendre suffisamment en compte ces dynamiques et aujourd'hui peu d'exemples d'aménagements sur/en lien avec le karst peuvent être identifiés. Il s'agit très souvent de recommandations d'experts sur le comportement à éviter pour ne pas favoriser le phénomène de karstification ou la pollution des sols et des nappes phréatiques.

Ce projet suggère d'adopter une approche différente et d'imaginer, au contraire, un projet/une planification territoriale capable de se structurer autour de ces caractéristiques avec l'objectif principal de rendre le territoire résilient au dérèglement climatique. La planification territoriale devrait inclure ces éléments de manière structurelle et mettre la résilience au cœur de sa réflexion.

La question de comment habiter les régions à haut risque ouvre un large débat, un passage m'a marqué lors de mes lectures.

*« Le déluge définit un événement dramatique advenu lors d'un vaste changement climatique. Il provoqua non seulement une véritable crainte du divin parmi les populations de la région, mais les força également à fuir, pour s'établir ailleurs et s'y adapter. Ce moment coïncide précisément avec la naissance du paysage et de l'architecture. » (Giro, 2016).*

Cette crainte d'événements dramatiques aurait été le moteur pour la recherche de lieux plus propices au développement humain. Cependant,

de tout temps, nous avons gardé une certaine proximité à l'eau. Les villes se sont développées en profitant des opportunités tout en gardant en vue les inconvénients que cela pouvait causer. C'est la recherche d'un équilibre entre les éléments naturels et le développement humain. Le travail de certains architectes et urbanistes contemporains (par exemple celui de Kelly Shannon) nous montre la possibilité d'une relation à l'eau et aux inondations différentes. Les crues étant des événements saisonniers, la montée des eaux n'est plus une crainte dans des pays tels le Cambodge. La population locale continue à vivre en symbiose avec le fleuve. Il faut évidemment garder à l'esprit que les contextes sont bien différents. Mais cela requestionne le rapport à l'eau, aux fleuves et aux crues que nous avons en Occident. Dans la région d'Heusy, le ruisseau de Mangombroux est canalisé en souterrain pour limiter son développement et permettre de construire sur le lit du cours d'eau. Mais est-ce une façon d'aménager adéquate ? Quel serait l'équilibre à trouver ?

Il me semble primordial que cette remise en question se fasse au travers d'échanges interdisciplinaires afin de croiser les milieux, les niveaux d'expertises et de compréhensions du territoire.





The background features a grayscale gradient from dark gray at the top to light gray at the bottom. Overlaid on this are several thick, black, wavy lines that create a sense of movement and depth, resembling topographical contours or liquid ripples. The word "Glossaire" is centered in a bold, white, sans-serif font.

# Glossaire



## Glossaire

**Chevelu** : Réseau de ruissellement de surface (Derruau, 2010).

**Dénoyage** : Action de dénoyer, de retirer l'eau qui ennoie. À l'inverse, ennoyer signifie donc faire disparaître un terrain, une zone, sous un plan d'eau (LeRobert, s.d.).

**Diaclase** : Fissure d'une roche ou d'un terrain sans que les deux parties disjointes aient bougé (LeRobert, s.d.).

**Doline** : Dépression circulaire allant de quelques mètres à plusieurs kilomètres de diamètre se formant par érosion du calcaire.

**Eau météorique** : Ce sont les eaux issues des précipitations atmosphériques sans que celles-ci aient touché le sol ou une autre surface (Ministère de la Culture, s.d.).

**Embâcle** : Obstruction du lit d'un cours d'eau, d'un détroit, par amoncellement anormal de glaces flottantes ou de débris divers, comme du bois, débris de construction etc. (LeRobert, s.d.)

**Fascine** : Structure composée de branchages entremêlés et assemblés de manière à former un barrage (LeRobert, s.d.)

**Fossé à redents** : Fossés recoupés de petites buttes transversales créant une succession de compartiments se déversant les uns dans les autres. Permet l'accumulation d'une certaine quantité d'eau et d'infiltrer.

**Lapiaz** : Relief de surface qu'on retrouve dans les régions calcaires. Il se présente comme une surface rocheuse entrecoupée de nombreuses rigoles ou crevasses (LeRobert, s.d.).

**Noue** : Dépression du sol servant à la rétention, à l'évacuation et/ou à l'infiltration des eaux pluviales (Bruxelles environnement, s.d.).

**Perte** : Entonnoir dans certaines zones calcaires ou karstiques, lieu où se perd l'eau d'un ruisseau ou ruissellement qui resurgit plus loin.

**Rejeu** : Relecture de tout ou partie de l'information géophysique enregistrée (Larousse, s.d.).

**Résurgence** : Réapparition à l'air libre d'une nappe d'eau ou d'une rivière souterraine, sous forme de grosse source (CNRTL, 2022).

**Transect** : Le transect désigne la traversée, selon une ligne imaginaire, d'un espace géographique afin d'en analyser les composantes paysagères (Transect — Géoconfluences., 2002 ).





The background features a grayscale gradient from dark gray at the top to light gray at the bottom. Overlaid on this are several thick, black, wavy lines that create a sense of movement and depth, resembling topographical contours or liquid ripples. The word "Références" is centered in a bold, white, sans-serif font.

# Références



## Référence bibliographique

## Ouvrages divers

Acreman, M., & Holden, J. (2013, Octobre). How Wetlands Affect Floods. *Wetlands*(33), pp. 773–786.

Alfakih, E., Azzout, Y., Barfaud, S., & Chocat, B. (1995). Urban stormwater: The analysis of the failure of the alternative techniques and the management of quality. *Water Science and Technology*, 32(1), pp. 33-39.

Banton, O., & Bangoy, L. M. (1997). *Hydrogéologie: Multiscience environnementale des eaux souterraines*. Presses de l'Université du Québec.

Bauduceau, N., Brochard, G., Chaptal, M., Chelkowski, X., Gelsing, F., Gernosius, B., . . . Webler, H. (2014). *Villes inondables: Prévention, Adaptation, Résilience*. Marseille: Parenthèses.

Bednar-Friedl, B., Biesbroek, R., Schmidt, D., Alexander, P., Børshem, K., Carnicer, J., . . . Whitmarsh, L. (2022). Europe. Dans GIEC, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 1817-1927). Cambridge: Cambridge University Press.

Bernard, C., & Polrot, F. (1994). *Les karsts du bassin de la Vesdre*.

Boniver, V., Daxhelet, D., De Coninck, S., Derzelle, C., Hagelstein, R., Keita, F., . . . Xanthoulis, S. (2005). *Protocole de Kyoto :aménagement du territoire, mobilité et urbanisme*. Namur: Études et Documents.

Bureau Boland-Tailleur. (2011). *Verviers (Petit-Rechain) : Projet de prescriptions urbanistiques-Lotissement «Les Pâturages»* . Liège.

Calembert, L., & Monjoie, A. (1971). Bassin karstique et réseaux souterrains de la région de Beauregard. Dans G. Fabre, & J. Nicod, colloque de Besançon sur l'hydrologie en pays calcaire (pp. 277-283). Armand Colin.

Caretta, M., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., . . . Supratid, S. (2022). Water. Dans GIEC, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. (pp. 551-712). Cambridge: Cambridge University Press.

Castany, G. (1982). *Hydrogéologie Principes et méthodes*. Paris: Dunod.

Chardonnet Darmaillacq, S., Lesueur, É., Louda, D., Maisonneuve, C., & Voisin-Bormuth, C. (2020). *Villes et territoires résilients*. Hermann.

Coen-Aubert, M. (1974). Le Givetien et le Frasnien du massif de la Vesdre : stratigraphie et paléogéographie. Bruxelles: Palais de Académies.

Colinet, G. (2022, Mars 3). Focus sur le bassin versant de la Vesdre (Conférence). Sol et territoire en province de Liège. Liège.

Composante Urbaine. (2014, Avril 30). Eaux de pluie, un atout pour l'espace public : Etude présentant des projets innovants en matière de gestion des eaux pluviales sur l'espace public et en voirie. Bruxelles: Bruxelles Environnement.

Cosandey, C., & Robinson, M. (2012). Chapitre 5 - L'eau des nappes: Les réserves hydrologiques. Dans C. Cosandey, & M. Robinson, Hydrologie continentale (pp. 197-234). Paris: Armand Colin.

CWEPSS. (2017). Projet de lotissement à Avister – commune d'Esneux: Etat des lieux des sites karstiques connus et recommandations concernant le bon aménagement des lieux. CWEPSS.

Cyrulnik, B., & Jorland, G. (2012). La résilience : connaissances de base. Odile Jacob.

Dassargues, A. (2021, Février 22). Ressources en eaux souterraines en Wallonie, principaux aquifères, aspects sécheresses et réinfiltrations.

De Broyer, C. (1979). Sites Karstiques et Aménagement du Territoire en Wallonie. Dans Annales de la Société Géologique de Belgique (pp. 95-100).

Dejonghe, L. (1987). Lithogéochimie des sédiments de plateformes déposées au Sud du Massif du Brabant (Belgique) pendant le Mésodevonien et le Frasnien. Service géologique de Belgique, 23, p. 147.

Denayer, J., Pacyna, D., & Boulvain, F. (2011). Le minerai de fer en Wallonie. Liège: DGARNE.

Derruau, M. (2010). Chapitre 8 - Roches sédimentaires II : Les calcaires. Dans M. Derruau, Les formes du relief terrestre: Notions de géomorphologie (pp. 72-80). Paris: Armand Colin.

Dethier, P. (1982). Phénomènes karstiques dans la région Verviétoise. Mémoire de Licence en Sciences Géographiques, 128. Université de Liège.

Dreesen, R. (1982). Storm-generated oolitic ironstones of the Famen-

nian (Fa1b-Fa2a) in the Vesdre and Dinant Synclinoria (Upper Devonian, Belgium). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 105, pp. 105-129.

EDENA. (1981). *L'encyclopédie AZ* (Vol. 9). Paris.

Foucault, A., & Raoult, J.-F. (1988). *Dictionnaire de Géologie*. Paris: Masson.

Girod, C. (2016). *Le cours du paysage : L'histoire d'un projet sur le monde naturel de la préhistoire à nos jours*. Paris: Ulmer.

Hanquet, V. (1843). *Plan et nivellements relatifs aux travaux exécutés dans le ruisseau de Mangombroux en lieu dit Agolina. (I. S. Nouvelle-Montagne, Éd.)* Verviers.

Kreienkamp, F., Sjoukje Y., P., Tradowsky, J. S., Kew, S. F., Lorenz, P., Arrighi, J., . . . Wanders, N. (2021). Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021. *World Weather Attribution*.

Laloux, M., Dejonghe, L., Geukens, F., Ghysel, P., Hance, L., & Polrot, F. (s.d.). *Notice explicative de la carte géologique de Wallonie. Planchette Limbourg-Eupen 435/6. 192. Namur: Ministère de la Région Wallonne.*

Leusch, J. (2012). *Fiches d'observations de deux effondrements à Heusy-Grands Champs Relevés avec photos. Dossier inédit, 2 p.*

Masten, A., & Powell, J. L. (2003). *A Resilience Framework for Research, Policy, and Practice*. Dans S. S. Luthar, *Resilience and Vulnerability* (pp. 1-26). Cambridge University Press.

Polrot, F. (1996). *Les dépressions d'origine anthropique dans les roches carbonatées in Atlas du Karst Wallon, province de Liège. Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains(1), pp. 111-124.*

Polrot, F. (1997). *L'eau et les phénomènes karstiques de la Commune de Limbourg Semaine Verte. Ville de Limbourg: CWEPSS 28.*

Polrot, F. (2002). *Inventaire des traces liées à d'anciennes industries extractives sur les carbonates du paléozoïque de l'Est de la Belgique Service Géologique de Belgique. Professional paper(296), p. 339 p.*

Polrot, F. (2013). *Le Vallon de Mangombroux. Mise a jour et relevé concernant un système karstique très actif au Sud-Est de Verviers. Eco Karst(93), pp. 4-9.*

Renier, A. (1924). Sur la découverte de l'extension, entre Thiervaux et la Bouquette du noyau de calcaires dévoniens du synclinal de Forstbach (Eschweiler). *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, 3(4), pp. 357-363.

Renier, A. (1928). Aperçu sommaire des particularités géologiques et hydrogéologiques de la région verviétoise. *Revue du Touring Club de Belgique*, 14, pp. 320-324.

Salomon, J.-N. (2006). Chapitre IV. Les dépressions fermées : dolines, ouvalas et poljés. Dans J.-N. Salomon, *Précis de Karstologie* (pp. 45-72). Pessac: Presses Universitaires de Bordeaux.

Spekkers, M., Rözer, V., Thieken, A., ten Veldhuis, M.-C., & Kreibich, H. (2017). A comparative survey of the impacts of extreme rainfall in two international case studies. Dans *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17 (pp. 1337-1355). Potsdam: Université de Potsdam.

Vanistendael, S. (2005). Humour et résilience : le sourire qui fait vivre. Dans F. p. *l'enfance, La résilience : le réalisme de l'espérance* (pp. 159-195). Toulouse: Érès.

Wójcik, O., Holt, J., Kjerulf, A., Müller, L., Ethelberg, S., & Mølbak, K. (2013, Aout ). Personal protective equipment, hygiene behaviours and occupational risk of illness after July 2011 flood in Copenhagen, Denmark. *Epidemiol Infect*, pp. 1756-1763.

Yvens, C. (1996). Mangombroux. Histoire d'un vallon Verviétois Verviers. *Nostalgia*, 250 p.

## Sites internet

Anonyme. (s.d.). Les différents types de roches. Consulté le 14 novembre 2022, Récupéré sur Life Hélianthème: <https://www.life-heliantheme.eu/index1a1d.html?id=495>

Barcellona Corte, M., & Possoz, J.-P. (2022). Projets d'architecture Q4 - Thématique 1 - Territoire, Espace, Lieu : Habiter le territoire II. Consulté le 12 octobre 2022, Récupéré sur Programmes Uliege: [https://www.programmes.uliege.be/cocoon/20222023/cours/ARCH0584-1.html#rubm\\_horaire](https://www.programmes.uliege.be/cocoon/20222023/cours/ARCH0584-1.html#rubm_horaire)

Bruxelles environnement. (s.d.). Noues. Consulté le 27 octobre 2022, Récupéré sur Guide Bâtiment Durable: <https://www.guidebatimentdurable.brussels/noues>

China. (2019). Comprehensive Treatment Project of Rocky Desertification in Karst Area. Consulté le 17 Novembre 2022, Récupéré sur UNEP: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/29773>

CNRTL. (s.d.). Résurgence. Consulté le 6 octobre 2022, Récupéré sur CNRTL: <https://www.cnrtl.fr/definition/résurgence>

Colmet Daâge, V. (2022, Février 28). Canicules, manque d'eau, inondations : le Giec décrit un sombre avenir pour l'Europe. Consulté le 12 octobre 2022, Récupéré sur Reporterre: <https://reporterre.net/Canicules-manque-d-eau-inondations-le-Giec-decrit-un-sombre-avenir-pour-l-Europe>

Contrat de Rivière Vesdre. (s.d.). Le bassin de la Vesdre. Consulté le 27 octobre 2022, Récupéré sur Contrat de Rivière Vesdre: <https://www.crvesdre.be/territoire/le-bassin-de-la-vesdre>

DGARNE. (2022, Octobre 19). Zones de contraintes karstiques. Consulté le 13 novembre 2022, Récupéré sur Service géologie de Wallonie: <https://geologie.wallonie.be/home/thematiques-sous-sol/aleas-naturels/karst/contraintes.html>

Larousse. (s.d.). Définitions : rejeu. Consulté le 26 décembre 2022, Récupéré sur Dictionnaire de français Larousse: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/rejeu/67806>

LeRobert. (s.d.). Définition : dénoyage. Consulté le 26 décembre 2022, Récupéré sur Dictionnaire LeRobert: <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/denoyage>

LeRobert. (s.d.). Définition : diaclase. Consulté le 26 décembre 2022, Récupéré sur dictionnaire LeRobert: <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/diaclase>

LeRobert. (s.d.). Définition : embâcle. Consulté le 26 décembre 2022, Récupéré sur Dictionnaire LeRobert: <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/embacle>

LeRobert. (s.d.). Définition : fascine. Consulté le 26 décembre 2022, Récupéré sur Dictionnaire LeRobert: <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/fascine>

LeRobert. (s.d.). Définition : lapiaz. Consulté le 26 décembre 2022, Récupéré sur Dictionnaire LeRobert: <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/lapiaz>

Ministère de la Culture. (s.d.). Eau météorique. Consulté le 26 décembre 2022, Récupéré sur FranceTerme: <http://www.culture.fr/franceterme/terme/ENVI121>

Online Browsing Platform. (2011). Hydrométrie — Vocabulaire et symboles. Consulté le 17 octobre 2022, Récupéré sur Online Browsing Platform: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:772:ed-5:v1:fr>

Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Nápoles, O., & Jonkman, S. (2018, Mai 29). Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. Consulté le 7 octobre 2022, Récupéré sur Nature Communication : <https://www.nature.com/articles/s41467-018-04253-1>

Service public de Wallonie. (2022, Octobre 5). Atlas du karst wallon - Série. Consulté le 10 mars 2022, Récupéré sur Géoportail de la Wallonie: <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/a5577b78-a388-48e7-86f9-c3138d562270.html>

Service public de Wallonie. (2022, Décembre). Circulaire relative à la constructibilité en zone inondable. Consulté le 26 décembre 2022, Récupéré sur Aménagement du territoire et urbanisme: [https://lampspw.wallonie.be/dgo4/site\\_aménagement/site/inondations](https://lampspw.wallonie.be/dgo4/site_aménagement/site/inondations)

## Conférences et Entretiens

Dassargues, A. (2022, Décembre 5). Discussion ouverte sur le ruissellement en région calcaire. (S. Herman, Intervieweur)

Degré, A. (2022, Février 24). Considérations Hydrologiques (Conférence). Hydrologie. Liège.

Dufrêne, M. (2022). Restaurer la biodiversité ordinaire pour améliorer la résilience face au changement globaux (conférence). Liège.

Duvat-Magnan, V. (2022, Avril 27). Décryptage du dernier rapport du GIEC : impacts, adaptation et vulnérabilité. (Territoires-Ministères-Écologie-Énergie, Intervieweur)

Fettweis, X. (2022, Mars 24). Plan Vesdre Aspects Climatiques (Conférence). Liège.

Habitant de Hèvremont. (2022, Novembre 24). Discussion sur la région. (S. Herman, Intervieweur)

Habitant de Heusy. (2022, Décembre 2). Discussion sur la région. (S. Herman, Intervieweur)

Privot, J. (2022, Février 7). Inondations dans le bassin versant de la Vesdre: comprendre & s'adapter (Conférence). Liège.



## Table des illustrations

### Fig. 1 : Observed impacts of climate change on human systems

Illustration © Giec

Bednar-Friedl, B., Biesbroek, R., Schmidt, D., Alexander, P., Børsheim, K., Carnicer, J., . . . Whitmarsh, L. (2022). GIEC, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (pp. 10). Cambridge: Cambridge University Press.

### Fig. 2: Progress of National Adaption In Europe

Illustration © Giec

Bednar-Friedl, B., Biesbroek, R., Schmidt, D., Alexander, P., Børsheim, K., Carnicer, J., . . . Whitmarsh, L. (2022). Europe. Dans GIEC, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (pp. 1882). Cambridge: Cambridge University Press.

### Fig. 3 : Planning de réalisation du TFE

Illustration © Herman Stanislas

### Fig. 4 : Artificialisation du sol du bassin versant de la Vesdre

Illustration ©LEMA

Uliège, LEMA (2021) Graphique : Dynamique d'urbanisation du bassin versant de la Vesdre.

### Fig. 5 : Exploitation et types de sol du bassin versant de la Vesdre

Illustration © Dushimirimana Joseph & © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW
- Surfaces occupées par les carrières en activité ©SPW
- Zones de consultation de la DRIGM ©SPW

### Fig. 6 : Le cycle de l'eau

Image de base © Illustrascience

Retravail ©Stanislas Herman

**Fig. 7 : Phénomènes karstiques**

Image de base © Larousse

Retravail © Dushimirimana Joseph &amp; © Herman Stanislas

**Fig. 8 : Doline au-dessus du cimetière de Heusy**

Photographie © Herman Stanislas

**Fig. 9 : « Doline de l'arbre » à Heusy**

Photographie © Herman Stanislas

**Fig. 10 : Résurgence de Hèvremont**

Photographie © Herman Stanislas

**Fig. 11 : Schéma d'une vallée sèche**

Illustration © Dushimirimana Joseph &amp; © Herman Stanislas

**Fig. 12 : Schéma d'une reprise de bassin versant**

Illustration © Dushimirimana Joseph &amp; © Herman Stanislas

**Fig. 13 : Schéma du phénomène de coup d'eau**

Illustration © Dushimirimana Joseph &amp; © Herman Stanislas

**Fig. 14 : Phénomènes karstique du bassin versant de la Vesdre**

Illustration © Dushimirimana Joseph &amp; © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 15 : Deux cas d'étude**

Illustration © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 16 : Topographie de la vallée sèche de Hèvremont**

Illustration © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Relief de la Wallonie - Modèle Numérique de Terrain (MNT) 2013-2014 ©SPW

**Fig. 17 : Carte de cheminement de la partie haute de Hèvremont**

Illustration © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 18 : Carte de cheminement de la partie basse de Hèvremont**

Illustration © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 19 : Géologie de la vallée sèche de Hèvremont**

Illustration © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Carte Géologique de Wallonie ©SPW

### Fig. 20 : Types de sol de la vallée sèche de Hèvremont

Illustration © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Carte Numérique des Sols de Wallonie ©SPW

### Fig. 21 : PASH de la vallée sèche de Hèvremont

Illustration © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Plans d'Assainissement par Sous-bassin Hydrographique (PASH) - Série grand public ©SPW
- Plan PICC ©SPW

### Fig. 22 : Risques de la vallée sèche de Hèvremont

Illustration © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Carte Géologique de Wallonie ©SPW
- Cartographie de l'aléa d'inondation ©SPW
- Périmètres de contraintes karstiques ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

### Fig. 23 : Plan de secteur de Hèvremont

Illustration © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

### Fig. 24 : Aménagement des pertes de Hèvremont

Illustration © Dushimirimana Joseph & © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Carte Géologique de Wallonie ©SPW
- Cartographie de l'aléa d'inondation ©SPW
- Périmètres de contraintes karstiques ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 25 : Coupe des pertes de Hèvremont**

Illustration © Dushimirimana Joseph & © Herman Stanislas

**Fig. 26 : Coupe dépression végétalisée**

Illustration ©Stanislas Herman

**Fig. 27 : Coupe des résurgences de Hèvremont**

Illustration © Dushimirimana Joseph & © Herman Stanislas

**Fig. 28 : Aménagement des résurgences de Hèvremont**

Illustration © Dushimirimana Joseph & © Herman Stanislas

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Carte Géologique de Wallonie ©SPW
- Cartographie de l'aléa d'inondation ©SPW
- Périmètres de contraintes karstiques ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 29: Vue espace rural**

Illustration ©Stanislas Herman

**Fig. 30 : Topographie de la vallée sèche de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Relief de la Wallonie - Modèle Numérique de Terrain (MNT) 2013-2014 ©SPW

**Fig. 31 : Carte de cheminement de la partie basse de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 32 : Carte de cheminement de la partie intermédiaire de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 33 : Carte de cheminement de la partie haute de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 34 : Géologie de la vallée sèche de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Carte Géologique de Wallonie ©SPW

**Fig. 35 : Types de sol de la vallée sèche de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Carte Numérique des Sols de Wallonie ©SPW

**Fig. 36 : PASH de la vallée sèche de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Plans d'Assainissement par Sous-bassin Hydrographique (PASH) - Série grand public ©SPW
- Plan PICC ©SPW

### Fig. 37 : Risques de la vallée sèche de Heusy

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Carte Géologique de Wallonie ©SPW
- Cartographie de l'aléa d'inondation ©SPW
- Périmètres de contraintes karstiques ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

### Fig. 38 : Plan de secteur de Heusy

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

### Fig. 39 : Aménagement de la partie haute de Heusy

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Carte Géologique de Wallonie ©SPW
- Cartographie de l'aléa d'inondation ©SPW
- Périmètres de contraintes karstiques ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

### Fig. 40 : Coupe des pertes de Heusy

Illustration ©Stanislas Herman

**Fig. 41 : Coupe noue en espace urbain**

Illustration ©Stanislas Herman

**Fig. 42 : Coupe de la résurgence de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

**Fig. 43 : Vue espace urbain**

Illustration ©Stanislas Herman

**Fig. 44 : Aménagement de la partie basse de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Carte Géologique de Wallonie ©SPW
- Cartographie de l'aléa d'inondation ©SPW
- Périmètres de contraintes karstiques ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW

**Fig. 45 : Aménagement de la partie intermédiaire de Heusy**

Illustration ©Stanislas Herman

Donnée de base :

- Atlas du karst wallon ©SPW
- Carte Géologique de Wallonie ©SPW
- Cartographie de l'aléa d'inondation ©SPW
- Périmètres de contraintes karstiques ©SPW
- Plan de secteur en vigueur ©SPW
- Plan PICC ©SPW



