

# RÉTENTION ET RALENTISSEMENT DE L'EAU DANS LA VALLÉE DE LA GUEULE

UTILISER LA NATURE CONTRE LES INONDATIONS ET LA SÉCHERESSE



H+N+  
S+ +



23 octobre 2023



# RÉTENTION ET RALENTISSEMENT DE L'EAU DANS LA VALLÉE DE LA GUEULE

UTILISER LA NATURE CONTRE LES INONDATIONS ET LA SÉCHERESSE

## AVANT-PROPOS

**Le Sud-Limbourg est un petit bout des Pays-Bas très particulier, notamment en raison de son paysage varié composé de hauts plateaux, de pentes raides et d'innombrables vallées. La région est appréciée tant par les habitants que par les visiteurs. Cependant, aussi attrayant et charmant que soit le paysage en général, l'atmosphère peut rapidement changer en cas de fortes pluies. Les cours d'eau sortent de leur lit, inondant les biens et les propriétés et causant d'importants dégâts. Sans compter les coulées de boue qui aggravent le problème.**

De nombreux habitants de la vallée de la Gueule sont encore sous le choc des violents orages de l'été 2021. Ce n'était pas la première fois qu'ils étaient confrontés à des dégâts des eaux dans les maisons, sur les routes et dans les champs, et ce ne sera certainement pas la dernière. Selon les prévisions, le changement climatique rendra de plus en plus fréquents les épisodes de pluie et de sécheresse extrêmes, d'où la nécessité de prendre des mesures de toute urgence.

Ce rapport présente six pistes de solution pour la vallée de la Gueule. Elles concernent :

1. Une augmentation de la rétention des eaux de pluie grâce à la végétation
2. Une augmentation de l'absorption par le sol des eaux de pluie
3. Une plus longue durée de séjour des eaux souterraines dans le sol et une absorption accrue de l'eau par le sous-sol profond
4. Le ralentissement du ruissellement des eaux en terrain rugueux
5. Le ralentissement et la rétention de l'eau collectée dans les affluents des cours d'eau et dans les vallées sèches
6. Ralentir le cours d'eau et libérer plus d'espace pour les plaines inondables naturelles

### **Pourquoi est-ce nécessaire?**

En de nombreux endroits, le paysage actuel n'est plus en mesure d'absorber de grandes quantités d'eau de pluie. Les villages et les villes sont souvent pavés et asphaltés à tel point que l'eau ne peut que s'écouler tel un torrent dans les rues. Dans les zones rurales aussi, après une période de sécheresse, les sols (arables) sont à peine capables d'absorber l'eau correctement. L'augmentation d'échelle a encore aggravé le problème : sur les grandes parcelles pentues dépourvues d'arbres, d'arbustes et de buissons, tout ce qui pouvait freiner l'eau a disparu. Il en va de même pour les parcelles drainées par des fossés ou des canalisations souterraines. C'est alors la vallée densément peuplée où se rassemblent les eaux à ruissellement rapide qui en subit les conséquences.

### **Que pouvons-nous faire?**

Nous pouvons nous servir de la nature pour capter et ralentir l'écoulement de l'eau. En adaptant l'aménagement et l'utilisation du paysage, celui-ci pourra à nouveau absorber, stocker et retarder l'évacuation des eaux de pluie. C'est ce que nous appelons "l'effet éponge naturel". Afin de mieux faire connaître cette approche et la mettre en pratique en de plus en plus d'endroits, plusieurs associations de protection de la nature ont uni leurs forces et créé l'organisation NATUURKRACHT.

La coalition NATUURKRACHT invite les provinces, les communes, les compagnies des eaux, les propriétaires fonciers, les entreprises, les citoyens, les planificateurs et les concepteurs à utiliser davantage les solutions que nous offre la nature et à collaborer afin de développer

et de concrétiser les opportunités que présentent ces mesures naturelles. Ce rapport d'étude réalisé à la demande de NATUURKRACHT par le Bureau Stroming, H+N+S Landscape Architects et Acacia Water permet de comprendre le paysage et quelles mesures naturelles peuvent être déployées en quels endroits afin d'améliorer la protection contre la montée des eaux.

Ces mesures naturelles (spatiales) sont liées à d'autres enjeux importants pour la vallée de la Gueule, tels que la qualité du paysage, la biodiversité, la sécurité de l'eau potable, la lutte contre la sécheresse, le captage du carbone et la lutte contre l'érosion des pentes et le ruissellement des produits fertilisants. C'est une autre raison pour laquelle les mesures naturelles valent la peine que l'on y consacre des efforts et de l'espace.

Au nom de,  
Cindy Burger, monuments naturels  
Esther Blom, ARK Rewilding Nederland-Bas  
Wilfred Alblas, Stichting het Limburgs Landschap  
Ton Hermanussen, Natuur en Milieufederatie Limburg  
Maarten Bruns, WWF Netherlands





La vallée de la Gueule, un petit bout unique du paysage néerlandais.



H+N+

S+ +



# TABLE DES MATIÈRES

1. MIEUX STOCKER LES PLUIES DILUVIENNES	9
2. DÉFIS LIÉS À L'EAU ET AU CLIMAT	13
3. SYSTÈME PÉDOLOGIQUE ET HYDRIQUE	17
4. EXPLOITATION ET UTILISATION ACTUELLE DES TERRES	23
5. LE VOYAGE DE L'EAU	29
6. TRAVAILLER AVEC LA NATURE	33
7. UN BASSIN HYDROLOGIQUE À L'ÉPREUVE DU CLIMAT ET DE L'AVENIR	55
8. RÉSULTATS DES CALCULS DU MODÈLE	59
9. VERS UNE VALLÉE DE LA GUEULE RICHE EN NATURE	67



Dans le bassin versant de la Gueule, le paysage naturel agit comme une éponge.

# 1. MIEUX STOCKER LES PLUIES DILUVIENNES

Ce rapport traite de l'utilisation de la nature, ou de la force de la nature, pour prévenir ou réduire les inondations dans la vallée de la Gueule. Le sol et le sous-sol, la vie du sol et la végétation jouent un rôle clé à cet égard. Ci-dessous, nous décrivons la manière par laquelle la "nature vivante" et la "nature non vivante" interagissent entre elles pour contribuer au stockage de l'eau.

## 1.1 Les forces de la nature en quelques points

### **Paysage de Bocage**

Le paysage du Sud-Limbourg se caractérise par de hauts plateaux, des pentes abruptes et d'innombrables vallées avec ou sans cours d'eau. Une autre caractéristique est l'alternance de (petites) forêts et de zones ouvertes avec des prairies, des champs et des vergers. L'ensemble du territoire est quadrillé par des bosquets et des haies. Il s'agit d'un paysage de bocage, dans lequel la variation du sol et de la roche (calcaire) a produit une flore et une faune caractéristiques.

### **Le sol, une éponge vivante**

Le sol joue un rôle majeur dans la gestion de l'eau, tout comme la vie qui s'y déroule. Le sol évolue avec le temps. Plus une zone est couverte de végétation depuis longtemps, plus le sol est vivant et son pouvoir tampon est important. Les feuilles et les plantes mortes (ainsi que les animaux) fournissent au sol de la matière organique. Cette matière absorbe bien l'eau et constitue dans le même temps

une source de nourriture pour les organismes vivant dans le sol, qui aèrent le sol par leurs galeries.

Un sol sain abrite plusieurs dizaines de milliers d'organismes vivants par mètre cube, parmi lesquels des vers, des arthropodes et des mammifères vivant sous terre. Ensemble, ils permettent à l'eau de pluie de s'infiltrer profondément dans le sol. Les racines des plantes contribuent à rendre le sol plus poreux. Elles perforent le sol solide, forment des fissures et, lorsqu'elles meurent, laissent des espaces vides derrière elles. Plus les racines sont profondes et étendues, plus la capacité d'absorption est grande. Les filaments fongiques contribuent également de manière significative à l'écosystème souterrain, formant ainsi une méga-éponge.

Les herbivores (petits et grands) constituent également un maillon important de ce système naturel. Avec leur fumier naturel, ils créent des quantités supplémentaires de matières végétales à moitié décomposées, qui sont absorbées par le sol. Les sabots des ruminants accélèrent l'incorporation de la matière organique, ce qui est bénéfique pour le sol, la vie du sol, les plantes et la capacité d'absorption.

Le sol de la vallée de la Gueule est composé en de nombreux endroits de limon. Cela le rend sensible au durcissement par les pluies suivies d'un fort ensoleillement. La couche supérieure dure qui se forme (couche compacte) n'absorbe pratiquement pas d'eau. L'éponge qu'est le sol a toujours besoin d'être protégée par des plantes pour fonctionner correctement.

### La végétation en tant que tampon et frein

La végétation protège le sol, nourrit la vie du sol, consomme elle-même l'eau contenue dans le sol et laisse l'eau s'évaporer par les feuilles. Elle est la première à recueillir les gouttes de pluie avant même qu'elles n'atteignent le sol. Une végétation forestière stratifiée, composée d'arbres, d'arbustes, d'herbes et de mousses, peut absorber une très grande quantité de précipitations. Les prairies structurées avec des arbustes, des fourrés et des buissons interceptent également beaucoup d'eau. Moins il y a de couches de végétation, moins l'eau est captée.

Les gouttes de pluie, une fois tombées sur le sol, mettent un certain temps à s'infiltrer. Lors de très fortes averses, le sol a du mal à suivre. Les pentes raides, comme dans la vallée de la Gueule, sont alors préjudiciables. L'eau qui n'est pas immédiatement absorbée par le sol commence à s'écouler. Dans ce cas, la végétation a à nouveau un rôle important à jouer. Elle offre une résistance aux eaux de ruissellement. Plus la végétation basse est dense et sauvage, plus l'eau est ralentie et plus elle a le temps de s'infiltrer. L'infiltration signifie également qu'une réserve d'eau se constitue dans le sol pour les périodes plus sèches.

La végétation a également un rôle de frein dans les vallées moins encaissées. Lorsqu'une inondation se produit dans la plaine naturelle d'une vallée de rivière ou de ruisseau, les arbres, arbustes et prairies rugueuses freinent l'écoulement de l'eau. Les arbres morts tombés sur le sol et les barrages formés par les castors ont le même effet. La résistance crée une retenue et une grande quantité d'eau peut être temporairement stockée à cet endroit. Les villages situés plus en aval le long du cours d'eau ont ainsi moins d'eau à gérer en même temps.

### Les méandres

Les inondations n'affectent pas l'écosystème de la plaine alluviale. Au contraire, l'abondance de l'eau lui donne un coup de pouce, no-

tamment parce que le processus naturel de la formation des méandres est déclenché par la puissance de l'eau. Cette force crée de nouvelles courbes dans le cours d'eau, de nouveaux chenaux et des bras morts de rivière. Les arbres tombés et les barrages de castors stimulent encore ce processus.

En termes hydrologiques, l'avantage d'un cours d'eau dynamique par rapport à un cours d'eau fixe (rectiligne) est que plus d'espace est donné à l'eau. En outre, un cours d'eau sinueux s'écoule plus lentement qu'un cours d'eau rectiligne.

### Sol, sous-sol et relief

La manière avec laquelle les eaux pluviales se déplacent naturellement dans le paysage est également largement influencée par la nature non vivante, telle que le sol, la roche et la morphologie du paysage (voir chapitre 3). Chaque type de sous-sol a sa propre perméabilité (capacité d'infiltration, capacité d'absorption). En outre, la déclivité des pentes joue un rôle important, comme expliqué ci-dessus.

### Microrelief grâce aux animaux

Si la morphologie n'est pas idéale (pentes raides), le microrelief occasionné par la faune peut également contribuer au ralentissement de l'eau. Pensons ici aux obstacles tels que les fourmilières. Celles-ci sont fréquentes dans les prairies pâturées de manière extensive. Le piétinement par les ruminants crée également des irrégularités. Les empreintes de pattes forment d'innombrables mini zones tampons dans lesquelles l'eau peut tranquillement s'infiltrer. Elles se forment surtout au cours du semestre d'hiver le plus humide, lorsque le sol est mou, par exemple dans le cas d'un pâturage extensif tout au long de l'année. Le piétinement doit bien sûr être limité, sinon la végétation succombe.

En bref, la gestion de l'eau est déterminée par l'interaction entre la nature vivante, la nature non vivante et, comme nous le verrons dans ce rapport, l'intervention humaine (voir chapitre 4). L'amélioration

de la gestion de l'eau dans le cadre de l'approche de Natuurkracht met l'accent sur une meilleure utilisation des deux premiers éléments (voir les chapitres 5 à 7 inclus).

## 1.2 Le rapport d'étude en bref

Dans ce rapport d'étude, le Bureau Stroming, H+N+S Landscape Architects et Acacia Water développent l'approche Natuurkracht d'un point de vue hydrologique. Pour ce faire, l'ensemble du paysage de la vallée de la Gueule est passé au crible. Le rapport décrit, analyse et calcule. Il se lit comme un manuel de "gestion naturelle de l'eau". Pour les autorités, les propriétaires fonciers, les entreprises, les habitants et les concepteurs, le rapport répond à la question de savoir quelles mesures peuvent être appliquées en quels endroits de la vallée de la Gueule, et quels en seront les résultats.

Le rapport est donc une invitation à se mettre au travail dans les (nouvelles) zones naturelles, les zones agricoles et les zones urbaines.

### Guide de lecture

L'étude commence par un voyage de découverte dans la vallée de la Gueule. Le chapitre 2 identifie les principaux défis : les défis liés à l'eau et au climat.

Les chapitres 3 et 4 explorent les caractéristiques spécifiques de la vallée de la Gueule. Le chapitre 3 porte sur le sol et le réseau hydrographique, tandis que le chapitre 4 met l'accent sur la remise en état et l'utilisation actuelle des terres. Des éléments au premier abord peu visibles ou méconnus sont également abordés. Il s'agit par exemple des drainages souterrains, des cours d'eau artificiels construits depuis les marais de pente jusque dans les vallées, des chemins d'écoulement peu profonds qui ne transportent que rarement de l'eau et sont donc difficilement reconnaissables, ou encore de l'influence de l'homme sur la vallée de la Gueule, et ce dès la préhistoire.

L'étude se poursuit avec le voyage de la goutte de pluie. Le chapitre 5 décrit le parcours d'une goutte de pluie depuis le moment où elle tombe quelque part dans le bassin de la Gueule jusqu'à son arrivée dans la Meuse à Voulwames. Cette goutte de pluie passe par un certain nombre de phases, au cours desquelles la nature ralentit l'eau chaque fois d'une manière différente. Ces connaissances peuvent ensuite être utilisées pour prévenir le ruissellement excessif dans l'ensemble du paysage. Le chapitre 5 explique quelles mesures (interventions) peuvent être envisagées.

Le voyage à travers la vallée de la Gueule est repris à l'aide d'une boîte à outils, une valise pleine de mesures. Le chapitre 6 replace les mesures du chapitre 5 dans le contexte du paysage avec ses forêts, ses champs, ses prairies, ses fossés, ses cours d'eau, ses chemins (creux), ses villes et villages. Comment peuvent-elles s'appliquer dans ou le long des différentes unités paysagères ?

Le chapitre 7 jette un regard en arrière. Il indique où ces mesures peuvent (le mieux) être appliquées parallèlement dans l'ensemble du bassin hydrographique de la Gueule. Un résultat optimal pour la gestion de l'eau et la qualité du paysage est primordial. Le recoupement avec la biodiversité, les loisirs et l'agriculture est également abordé ici.

Cette exploration approfondie est suivie de la question de savoir dans quelle mesure les solutions naturelles proposées contribuent à réduire les risques d'inondation. Le chapitre 8 présente les résultats des calculs de modèle. L'étude de modélisation quantifie l'effet d'un certain nombre d'interventions liées à la nature sur les débits de pointe et ceux de base.

Enfin, la coalition NATUURKRACHT conclut ce rapport au chapitre 9 en dressant le bilan de cette étude et en envisageant ce que nous devons faire à l'avenir.



Inondation d'une zone tampon dans la vallée de la Gulp durant l'onde de crue de juillet 2021.

## 2. DÉFIS LIÉS À L'EAU ET AU CLIMAT

Dans un système hydrique naturel, l'eau de pluie est collectée, stockée temporairement en divers endroits, partiellement transmise en partie à la nappe phréatique (profonde) et en grande partie évacuée progressivement. Cela permet d'amortir les pics de précipitations et les périodes de sécheresse intermédiaires, et il est rare que le sol soit trop humide ou trop sec pour la végétation naturelle. Au fil du temps, nous avons modifié le paysage et adapté le système hydrique selon nos propres besoins humains (voir également chapitre 4). Ceci vaut évidemment aussi pour la vallée de la Gueule. Par exemple, pour pouvoir mieux travailler la terre et plus tôt dans l'année, nous drainons l'eau plus rapidement. Pour améliorer l'accessibilité, nous construisons des routes et des rigoles. Comme celles-ci sont imperméables à l'eau, elles fonctionnent pendant les averses telle une extension du système de rivières et de ruisseaux ; elles accélèrent l'évacuation de l'eau de pluie. En partie à cause du changement climatique, nous sommes de plus en plus confrontés aux inconvénients de ce système : de grandes quantités de précipitations entraînent plus rapidement des inondations et les périodes de sécheresse deviennent plus longues et plus intenses. Malheureusement, ce phénomène provoque également de plus en plus de dégâts. Les inondations de l'été 2021 et les étés particulièrement secs de ces dernières années en sont des exemples douloureux.

Nous nous rendons donc de mieux en mieux compte qu'il faut changer quelque chose à notre système hydrique modifié. Nous devons retenir l'eau plus longtemps et l'aider à s'écouler plus lentement.

Plus nous agissons en amont, vers les capillaires du système, plus l'efficacité sera grande. En effet, les volumes d'eau à stocker y sont encore relativement modestes par rapport à la situation en aval, où la masse d'eau représente une somme de flux d'eau provenant de divers sous-bassins.

On dispose ainsi de suffisamment d'espace en amont pour stocker l'eau. C'est précisément lorsqu'il n'est pas nécessaire de stocker autant de mètres cubes par hectare que la nature est parfaitement en mesure de le faire. Le stockage de l'eau et la nature se combinent alors parfaitement avec d'autres fonctions. Plus en aval, là où les volumes d'eau s'accumulent, l'espace de stockage et les possibilités de combinaison ne sont généralement possibles que dans la plaine alluviale.

### 2.1 Examinons de plus près l'onde de crue du 14 juillet 2021

L'onde de crue dans la Gueule a fait suite à une quantité exceptionnelle de précipitations qui sont tombées en plusieurs jours dans le Sud-Limbourg et dans la partie frontalière de la Belgique et de l'Allemagne. Toute cette eau s'est en partie écoulee durant cette période. Les principales conclusions des recherches sur cet épisode de précipitations (Bureau Stroming, 2021 et Deltares, 2022) ainsi que sur le déroulement et l'origine de l'onde de décharge dans la Gueule constituent le point de départ de cette étude.

### D'où l'eau provenait-elle?

La cause principale de cette situation de crue extrême a été la combinaison de grandes quantités de précipitations sur l'ensemble du bassin hydrographique, d'une longue période de précipitations et de l'intensité relativement élevée pour une averse aussi d'une telle durée (5 - 10 mm/h, avec des valeurs extrêmes de plus de 30 mm/h). En conséquence, les zones à faible capacité d'infiltration ont collecté beaucoup d'eau et les flux d'eau provenant des différents sous-bassins se sont accumulés. Une différence importante avec d'autres situations d'inondations dans la région du Heuvelland est que celles-ci sont généralement causées par des averses extrêmes où l'intensité des précipitations peut atteindre 100 mm/heure, mais durant une période beaucoup plus courte et, de plus, dans une petite partie du bassin hydrographique.

La majeure partie de l'eau qui a fini par aboutir dans la vallée provenait de la partie wallonne du bassin. Quelque 65 à 75 % de l'eau de l'onde de crue provenait de cette région, couvrant elle-même 52 % du bassin de la Gueule.

Dans la partie wallonne, c'est à nouveau la partie située le plus en amont (en amont de La Calamine) qui a fourni le plus d'eau. Il est intéressant de noter que la superficie de cette section ne représente que 20 % du bassin hydrologique total, mais qu'elle a fourni 50 % du débit total pendant la crue.

### La capacité de stockage de la vallée de la Gueule

Par nature, le degré de rétention d'eau est fortement déterminé par les caractéristiques géologiques et géomorphologiques du sol et du sous-sol (voir chapitre 3). En outre, l'homme a modifié le paysage et en a ainsi influencé la capacité de stockage; la proportion de surface artificialisée (urbaine) et le type d'utilisation des sols jouent un rôle majeur (voir chapitre 4).

Même pendant la période de précipitations extrêmes de 2021, une grande partie de l'eau de pluie n'a pas atteint le ruisseau parce qu'elle a été retenue dans le sol. Dans la partie wallonne, plus de la moitié de l'eau (50-65 %) a été retenue temporairement et n'a été évacuée qu'après l'épisode de précipitations. Pour la partie néerlandaise, c'est même plus des trois quarts (80-85 %). Le bassin de la Gueule dispose donc d'une grande capacité de stockage de l'eau, mais cela n'a pas suffi à éviter les inondations majeures. La chose évidente à faire maintenant est de rechercher des zones et des types d'utilisation des sols où davantage d'eau de pluie pourrait être temporairement retenue et évacuée à un rythme plus lent.

### L'impact des terrains imperméabilisés et compactés

La capacité de stockage du sol est élevée, mais en raison du compactage et du revêtement "en dur" du terrain, l'eau n'a pas la possibilité de s'infiltrer correctement dans le sol. Dans le cas des surfaces pavées ou asphaltées (routes, agglomérations, etc.), ce phénomène est évident. Mais les champs où les cultures germent tardivement (comme le maïs) ont également tendance à ne pas absorber suffisamment d'eau. En effet, au début de l'été, le sol est souvent compacté (sous l'effet de la pluie et du soleil), tandis que la vie du sol et la matière organique sont souvent minimales. Dans ces régions, à mesure que l'intensité des précipitations augmente, une proportion croissante de l'eau commence à ruisseler sur les terres pour se retrouver dans la vallée et les cours d'eau en très peu de temps (moins d'une heure).

Les surfaces artificialisées de la vallée de la Gueule ont fourni une grande partie de l'eau de l'onde de crue (Stroming, 2021). Au début de l'onde de crue, la quasi-totalité de l'eau provenait probablement des surfaces en dur. Au fil du temps, la part des autres flux d'eau, cheminant plus lentement, a augmenté.

### Capacité de stockage de la plaine alluviale

Une réduction particulièrement efficace de l'onde de crue a débuté dans la plaine alluviale de la Gueule. Cette plaine alluviale est relativement large aux Pays-Bas et une large superficie peut donc être inondée, ce qui a considérablement réduit la hauteur du pic. Il ressort des données sur les niveaux d'eau qu'au moment du passage du pic, il y avait tellement d'eau retenue dans la plaine que l'onde de crue n'a pratiquement pas augmenté en hauteur, mais seulement en durée. Sans cet effet tampon de la plaine alluviale de la Gueule, le niveau d'eau à Valkenburg et à Meerssen aurait été encore beaucoup plus élevé.

### Capacité de stockage des zones naturelles

L'intensité des précipitations était si élevée à certains moments que même dans les prairies et les naturelles, largement pâturées, et les bois, l'eau s'est mise à ruisseler superficiellement. Néanmoins, la capacité d'absorption et de retardement de la canopée végétale, des éventuels sous-bois, de la couche de litière et du sol a permis de retarder les précipitations, de sorte que les zones naturelles ont beaucoup moins contribué à l'onde de crue.

## 2.2 Solutions naturelles aux effets du changement climatique

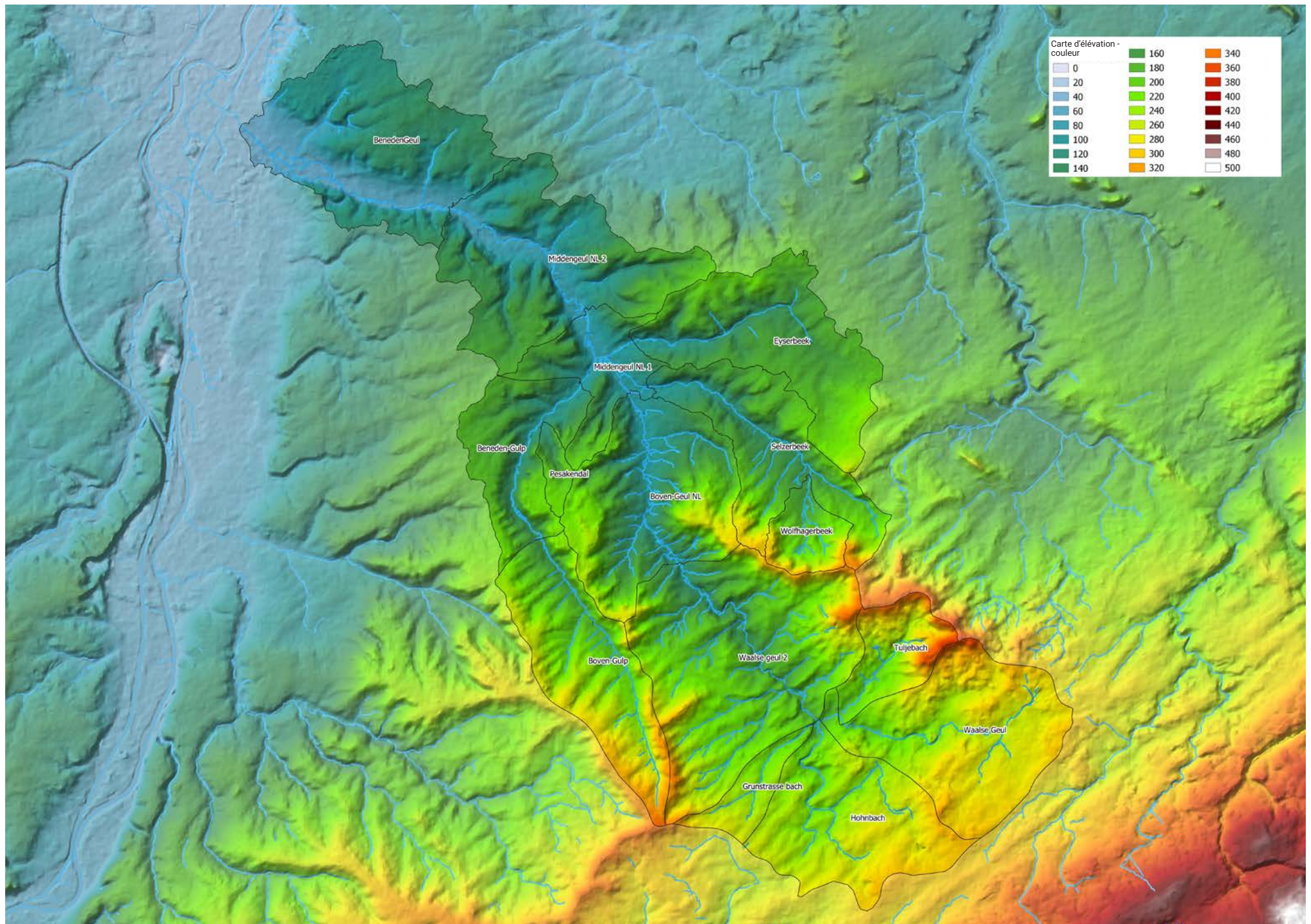
Les précipitations du 14 juillet 2021 étaient un phénomène exceptionnel qui se produira de plus en plus souvent en raison du changement climatique. De même, les précipitations de courte durée, mais intenses, causent déjà régulièrement beaucoup de nuisances et de dégâts. En outre, les étés secs constituent un problème qui deviendra plus fréquent notamment à cause du réchauffement climatique.

Qu'il s'agisse de pluies prolongées, de courtes averses torrentielles ou de sécheresse, la solution consiste à ralentir le parcours d'une goutte de pluie depuis le moment où elle tombe jusqu'à celui où elle quitte le bassin hydrologique. Dans un paysage naturel, la végétation, le sol,

la vie du sol et la morphologie permettent à cette goutte de pluie d'être collectée, de s'infiltrer et de s'écouler progressivement, en étalant dans le temps le ruissellement, qu'il soit fort ou faible, et en atténuant tant les pics d'écoulement que les épisodes de sécheresse (voir également chapitre 5).

La nature est donc de manière intrinsèque un bon régulateur de l'écoulement et donc un outil efficace contre les inondations, les crues et la sécheresse. Cette force de la nature peut être encore mieux utilisée dans la vallée actuelle de la Gueule en vue d'obtenir un système hydrique et un paysage fonctionnant mieux et qui soient plus résilients; un paysage présentant des avantages supplémentaires entre autres pour la biodiversité, le stockage du carbone, la réduction de l'azote, la régulation de la température, l'écotourisme et l'économie.

Les solutions naturelles peuvent ainsi bien s'intégrer dans le paysage culturel existant. Le défi consiste à les déployer au bon endroit et à les adapter au paysage du Heuvelland (voir chapitre 6).



Carte d'élévation du bassin hydrographique de la Gueule, qui s'enfonce dans les moyennes montagnes des Ardennes et de l'Eifel.

# 3. SYSTÈME PÉDOLOGIQUE ET HYDRIQUE DE LA VALLÉE DE LA GUEULE

Ce chapitre examine plus en détail le bassin hydrographique de la Gueule à l'aide d'une série de cartes. Comment la région et, en particulier, le réseau hydrographique sont-ils configurés ? Et quelles sont les différences locales ? Comment pouvons-nous y répondre au mieux par des mesures naturelles de lutte contre les inondations ?

## 3.1 Paysage en strates

La géologie, le sol, le relief, le réseau hydrographique, l'utilisation des sols et la végétation sont les principaux facteurs qui déterminent la vitesse de déplacement d'une goutte de pluie à travers le bassin versant. Ces caractéristiques de base ont été cartographiées dans ce chapitre et permettent de bien comprendre la structure du bassin hydrographique.

### **Le bassin hydrographique de la Gueule**

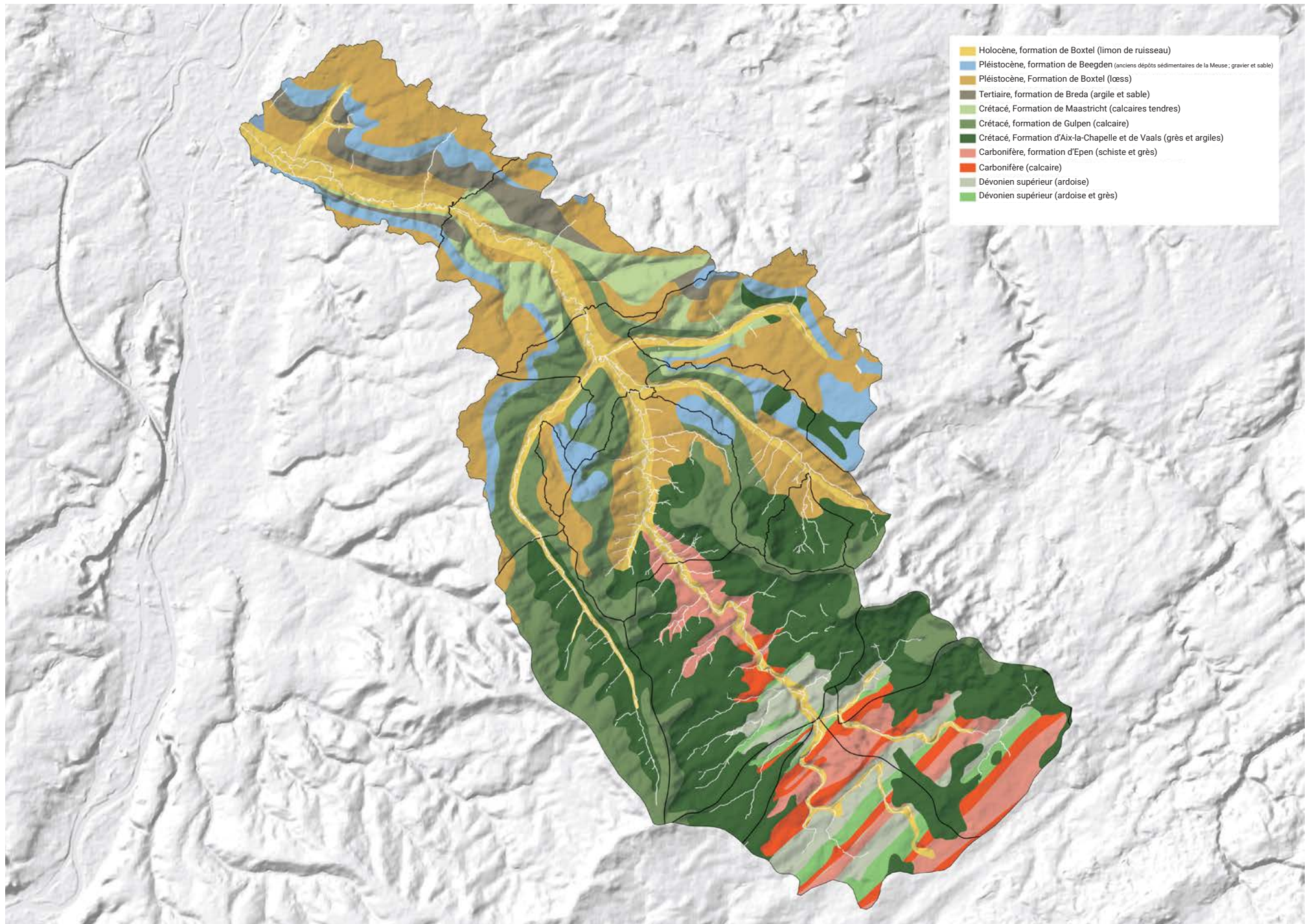
La Gueule prend sa source sur le flanc nord de l'une des chaînes de moyenne montagne d'Europe centrale, comprenant à la fois les Ardennes et l'Eifel. Ce bassin hydrographique s'étend de part et d'autre de la frontière néerlandaise, vers nos pays voisins, la Belgique, et une petite partie de l'Allemagne. Ceci constitue un défi qui nécessite une coopération et une approche transfrontalières. Les pluies de juillet 2021 sont venues du nord et ont provoqué des crues exceptionnelles dans toutes les rivières prenant leur source sur le flanc nord de cette chaîne de montagnes (l'Ahr, la Gueule, la Roer et la Vesdre).

Le bassin de la Gueule couvre une superficie de plus de 33 400 ha, dont 52,4 % sont situés aux Pays-Bas, 42,4 % en Belgique et 5,2 % en Allemagne. Depuis sa source près de Hausset, à la frontière entre l'Allemagne et la Wallonie, jusqu'à son embouchure dans la Meuse à Itteren, la Gueule a une longueur d'environ 60 km. La figure représente le profil longitudinal de la vallée de la Gueule et de ses trois principaux affluents. Parmi ceux-ci, celui de la Gulp est le plus long avec une longueur de 17,5 km, le Selzerbeek et l'Eyserbeek faisant environ 10 km de long. La Gueule prend sa source à une altitude d'environ 280 m et comble une différence d'altitude de 240 m jusqu'à la Meuse, tandis que la Gulp jaillit encore un peu plus haut, à 315 m.

### **Le sous-sol géologique**

Le sous-sol géologique de la vallée de la Gueule présente de grandes variations, avec des roches très anciennes dans les parties amont du bassin versant de la Gueule et des roches plus jeunes plus en aval.

La partie la plus en amont du bassin (en Wallonie) est constituée en grande partie de roches paléozoïques très anciennes datant du Dévonien et du Carbonifère. On rencontre ces roches encore dans la partie aval de la vallée wallonne de la Gueule, mais elles se limitent à la vallée elle-même. De l'autre côté de la frontière, dans la vallée néerlandaise de la Gueule, ces roches se retrouvent encore sur une petite superficie. Il s'agit principalement de grès, d'ardoise et de calcaire dur quasi imperméables à l'eau.



La carte géologique de la vallée de la Gueule montre une nette dichotomie entre les roches anciennes et peu perméables au sud et les roches plus jeunes et bien perméables au nord de la région.

Les roches d'âge moyen (mésozoïque) de la période du Crétacé se composent de roches calcaires, de grès et de grès argileux plus tendres. La célèbre marne calcaire tendre de Maastricht que l'on trouve sur les flancs de la basse vallée de la Gueule en fait partie. Ces roches bien perméables forment une sorte d'éponge géologique.

Elle contraste avec la craie de Gulpen, plus compacte et plus dure, et avec ce que l'on dénomme le sable vert d'Aix. On les trouve en surface dans une grande partie de la partie wallonne et flamande du bassin versant. Aux Pays-Bas, elles apparaissent principalement sur les flancs des vallées. Plus haut, sur les plateaux, elles sont également présentes, mais se trouvent sous d'épaisses couches plus jeunes. Ces roches ne laissent pratiquement pas filtrer l'eau, car seule la fine couche de sol qui recouvre le sous-sol est capable d'absorber l'eau. Le sous-sol ressemble donc plus à un torchon qu'à une éponge

Les sédiments plus récents du Tertiaire et du Quaternaire (Pléistocène) sont principalement constitués de sable et d'argile, les dépôts plus anciens du Tertiaire étant encore compacts et laissant passer peu d'eau. Les dépôts plus jeunes du Pléistocène, en revanche, ont une structure plus meuble et laissent passer l'eau facilement. Les couches du Pléistocène comprennent également les couches de gravier déposées par la Meuse primitive (Oer-Maas) et le loess apporté par le vent au cours des périodes glaciaires. Les dépôts de cette période se trouvent presque exclusivement dans la partie néerlandaise du bassin versant, sur les plateaux en amont de Valkenburg, mais aussi sur les flancs en aval de Valkenburg. En principe, le loess est très perméable, mais à une certaine profondeur peuvent apparaître ce qu'on appelle des horizons argileux plus compacts, réduisant ainsi la perméabilité.

Les dépôts de sédiments les plus récents de la région sont des dépôts limoneux de l'Holocène qui se trouvent dans les plaines alluviales. Ils font souvent plusieurs mètres d'épaisseur et ont été déposés par la Gueule et ses affluents au cours des derniers millénaires (voir

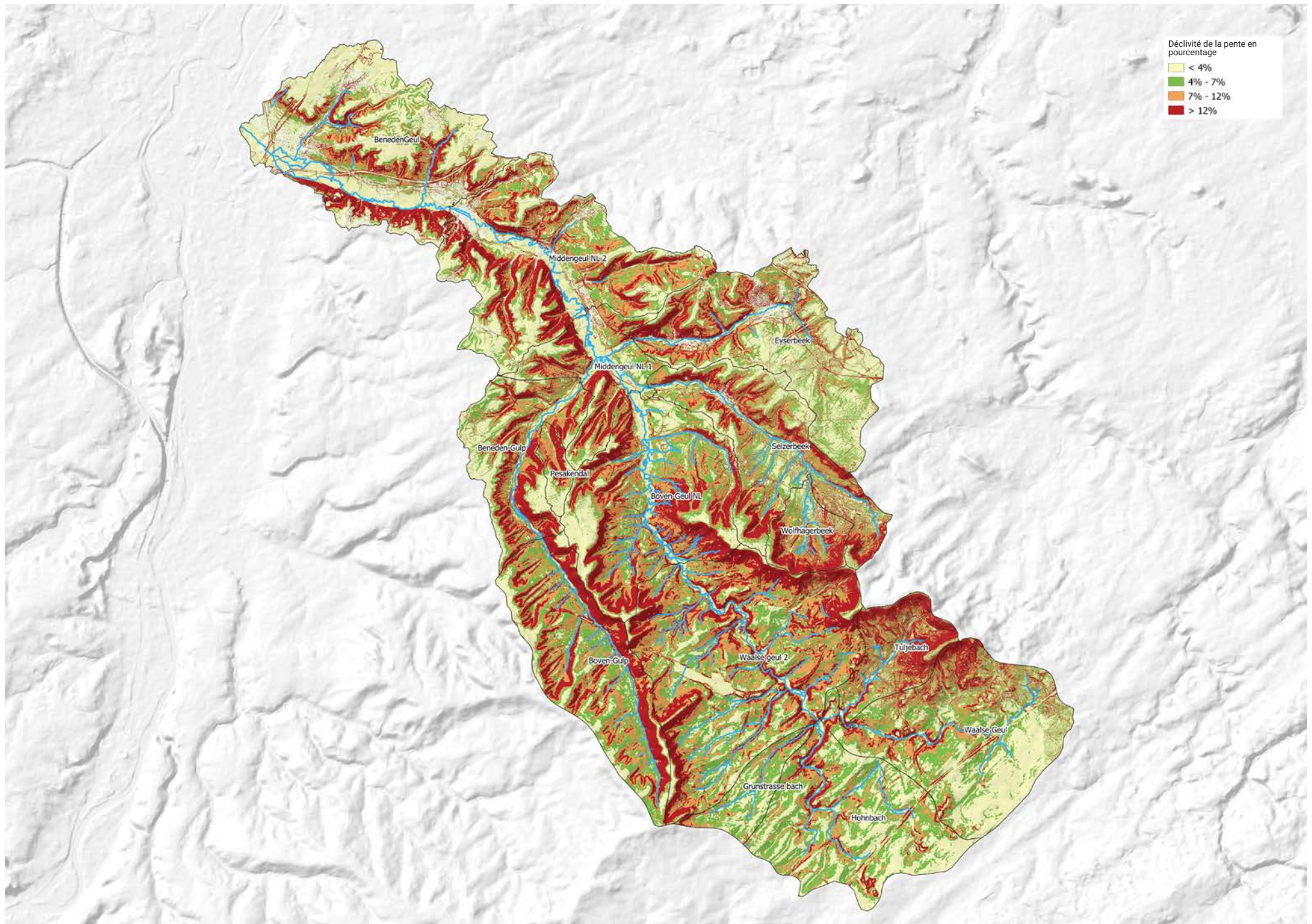
également 4.1). On les trouve partout dans les plaines des vallées, le plus souvent dans toute la partie néerlandaise du bassin versant où les plaines font des centaines de mètres de large, mais aussi dans la vallée flamande de la Gulp et dans la vallée wallonne de la Gueule. Cependant, il s'agit toujours de petites zones, à proximité du cours d'eau. Ces sols limoneux sont peu perméables.

#### **Le sous-sol – les sols**

En raison de l'érosion et de l'altération des matériaux souvent solides du sous-sol géologique, une couche, d'une épaisseur de quelques décimètres à un mètre ou plus, de matériaux meubles s'est formée à la surface de la terre, appelée sol. Ce sol peut être constitué de roches meubles, de sable, de limon ou d'un mélange de ces éléments. L'épaisseur et la structure du sol sont très importantes pour la quantité d'eau qu'il peut retenir. La quantité de matière organique contenue dans le sol est particulièrement importante. Plus il y a de matières organiques, plus le sol est capable d'absorber de grandes quantités d'eau telle une éponge.

#### **Relief**

L'érosion du sous-sol est plus rapide à certains endroits qu'à d'autres, ce qui donne naissance à un relief. Le relief s'avère être clairement lié au sous-sol géologique tel que décrit ci-dessus. Dans les roches anciennes et dures de la partie le plus amont de la vallée de la Gueule, les vallées ne sont pas profondément incisées et le degré de pente des flancs de la vallée ne dépasse souvent pas 7 %. Ce n'est que dans la partie inférieure de la vallée que la pente est un peu plus raide. Les pentes les plus douces se trouvent dans les parties les plus élevées du bassin hydrologique de la Gueule, au niveau de la ligne de séparation des eaux avec les bassins versants adjacents de la Vesdre et de la Roer.



La carte des gradients de la vallée de la Gueule montre que la Gueule et ses affluents se sont profondément incisés notamment dans les roches plus jeunes, formant des pentes localement abruptes (> 12 %).

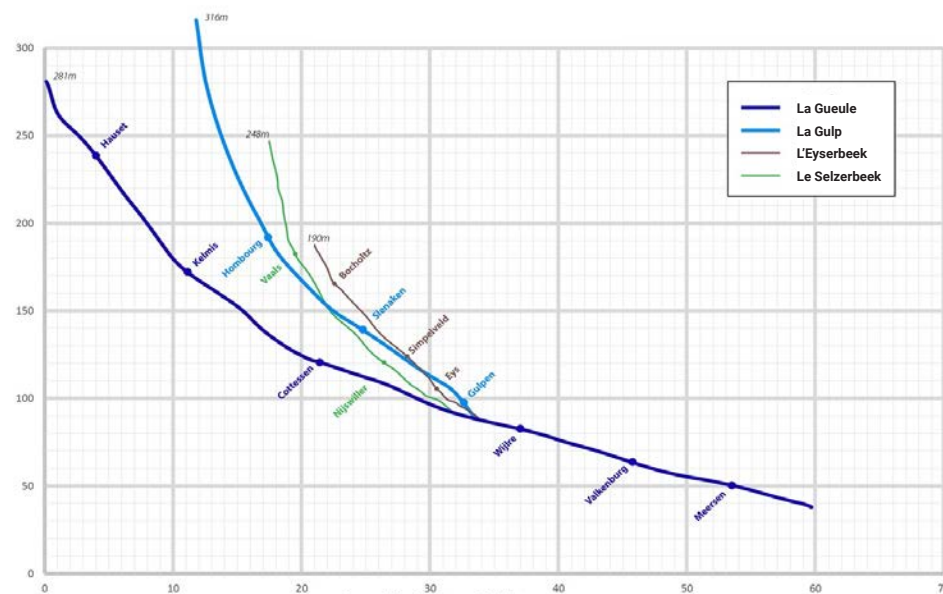
Là où le sous-sol, plus en aval, est constitué de calcaires et de grès du Crétacé et d'argiles du Tertiaire, le relief est beaucoup plus marqué et l'on trouve les transitions abruptes entre le plateau et la vallée. Les pentes elles-mêmes présentent souvent de petites courbures dont les creux peuvent fonctionner comme un cours d'eau lorsque l'eau commence à s'écouler en surface. Une autre caractéristique frappante de nombreuses vallées est que les pentes orientées vers le sud (ouest) sont beaucoup plus raides que celles des pentes opposées. Enfin, là où, notamment dans la partie néerlandaise de la vallée de la Gueule, le gravier et le lœss du Pléistocène de la Meuse se trouvent en surface, le relief des plateaux est souvent quasi inexistant et les flancs ne présentent qu'une faible pente.

### 3.2 Système des eaux de surface

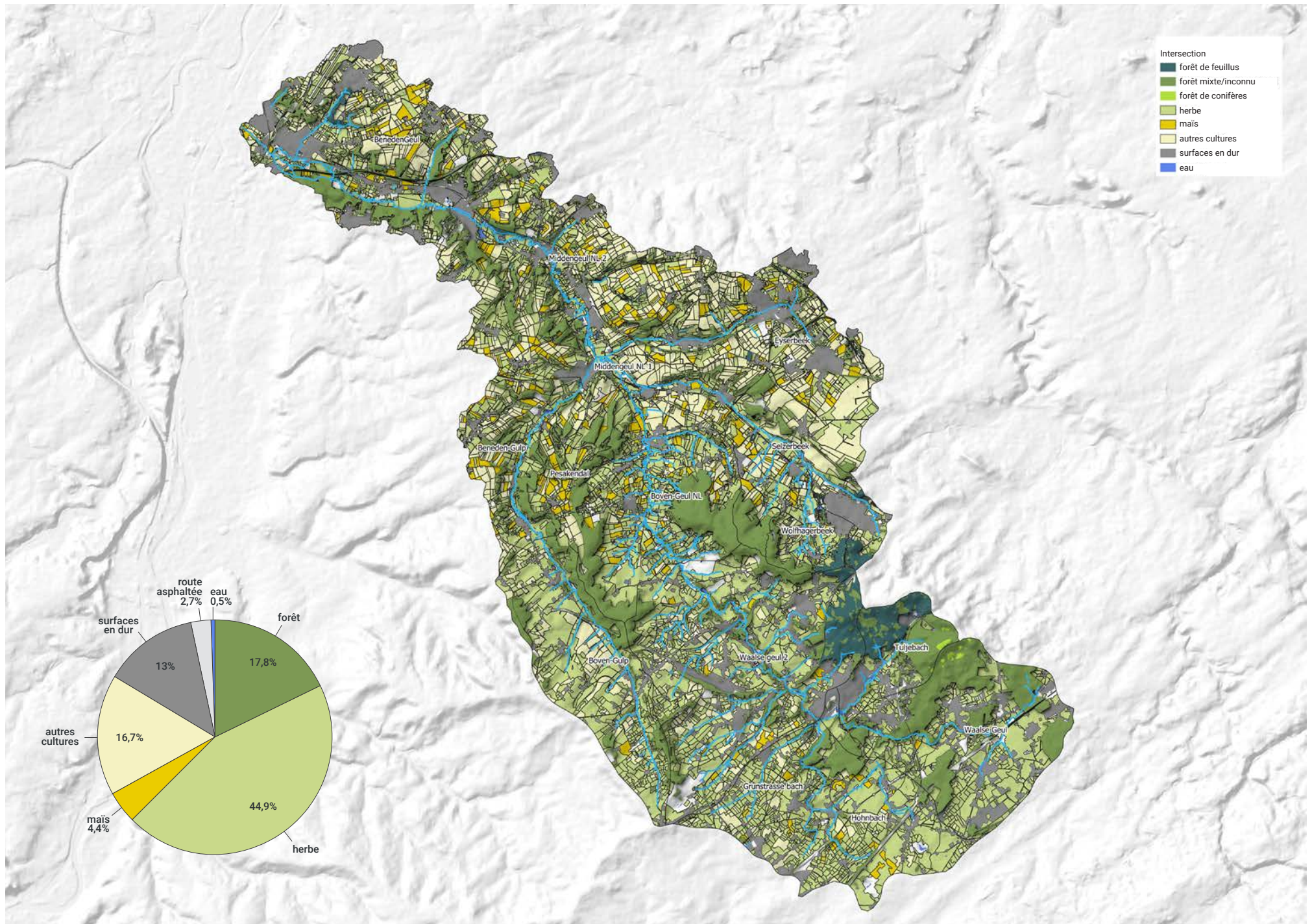
En raison des différences de perméabilité, le sous-sol géologique influence également le système des eaux de surface. Dans la partie wallonne du bassin hydrologique, où les schistes massifs, les grès et les calcaires durs se trouvent tout près de la surface, il existe un vaste réseau de ruisseaux affluents le long de la Gueule.

Ceci vaut également aux zones où affleurent les sables verts (du Crétacé) ou les argiles du Tertiaire relativement imperméables.

Dans les autres sous-sols, tels que les roches plus tendres de l'ère du Crétacé, le nombre de cours d'eau est déjà beaucoup plus faible et on ne les retrouve plus que dans les vallées relativement encaissées. Enfin, dans les sables, graviers et lœss bien perméables du Pléistocène, il n'y a aucun ruisseau latéral. On y trouve cependant des vallées, dites vallées sèches, qui se sont formées au cours d'une période glaciaire et où de l'eau s'écoulait. Aujourd'hui, l'eau s'écoule sous terre et ne remonte plus à la surface.



Profil en long de la Gueule et de ses trois principaux affluents.



L'utilisation actuelle des terres dans la vallée de la Gueule présente un nombre relativement important de champs (de maïs) dans le nord et davantage de prairies dans le sud. Les forêts se trouvent principalement sur les pentes abruptes et les crêtes élevées.

# 4. EXPLOITATION ET UTILISATION ACTUELLE DES TERRES

**Le paysage vallonné dont fait partie la vallée de la Gueule est exploité par l'homme depuis environ 7 000 ans. Les cours d'eau et les vallées des ruisseaux ont toujours été d'une grande importance pour le drainage et l'irrigation des terres agricoles, l'approvisionnement en poisson et en énergie, et l'alimentation en eau des douves des châteaux.**

## 4.1 Du paysage naturel au paysage de culture

A l'origine, les vallées des ruisseaux étaient constituées de forêts marécageuses (composées principalement d'aulnes, de saules et de frênes) sur fond de gravier, à travers lesquelles l'eau cherchait à se frayer un chemin dans le sens de la largeur. L'image actuelle de la plupart des vallées de ruisseaux est celle d'un petit cours d'eau étroit et sinueux ayant incisé le sol de lœss. Ce lœss est un matériau ayant ruisselé le long des pentes. Il a rempli les vallées des cours d'eau, surtout à partir de l'époque romaine. Le ruissellement des eaux de pluie de surface a eu lieu après le défrichement des forêts pour l'agriculture. L'extension des parcelles agricoles au Moyen-Âge, de même que l'augmentation d'échelle et l'élimination des fossés au siècle dernier, a intensifié les processus d'érosion et de sédimentation. Cela a eu pour conséquence le dépôt d'une couche d'argile d'une épaisseur parfois de plusieurs mètres dans les vallées des cours d'eau, dans laquelle le ruisseau s'est profondément enfoncé.

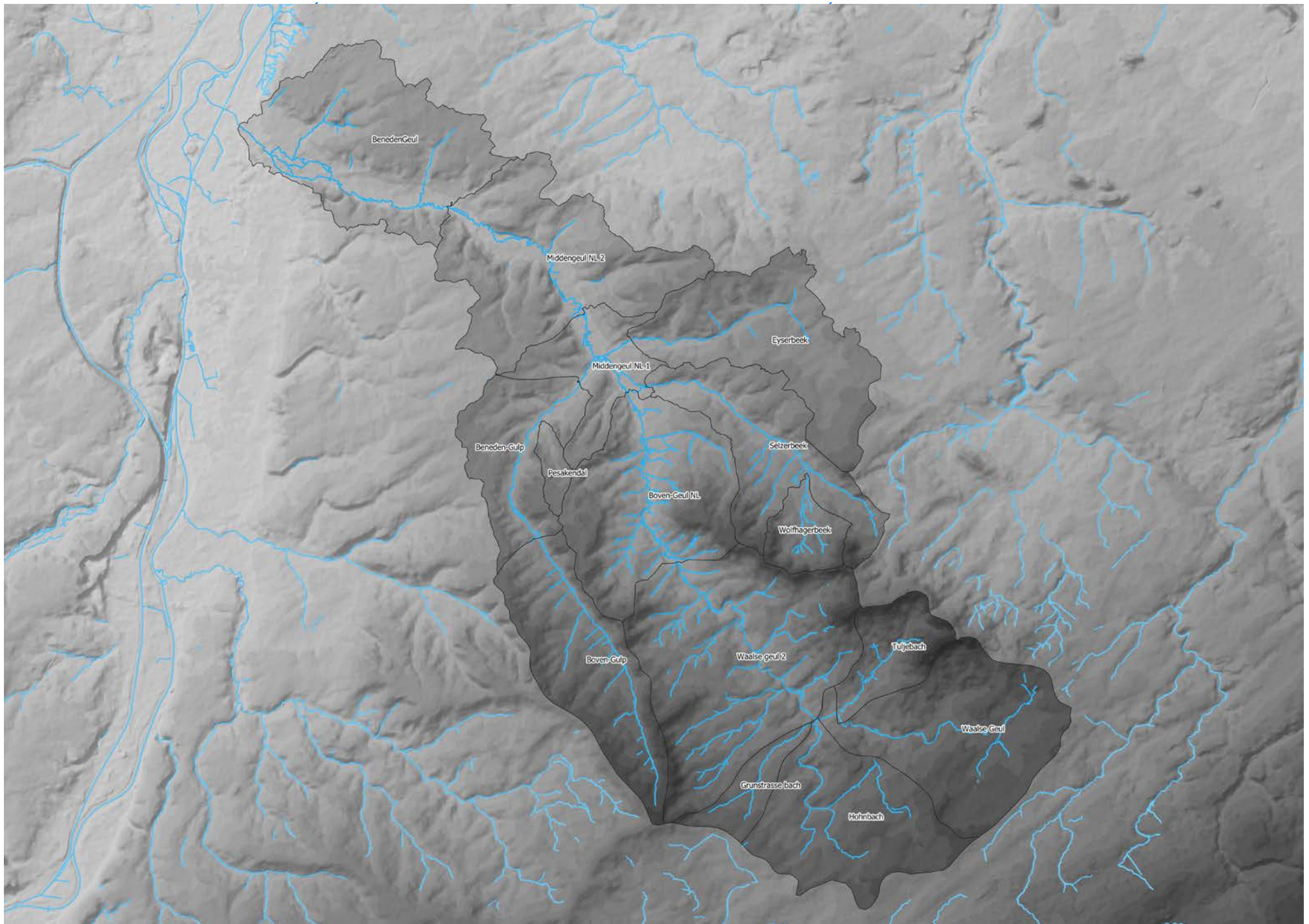
Cette sédimentation rapide a également mis fin à la formation de tourbières à l'origine très répandues dans les vallées cours d'eau. Il

convient de prendre conscience que cette image qui nous paraît si naturelle d'un cours d'eau serpentant à travers les prairies ne correspond pas la situation originelle.

En outre, certains tronçons de cours d'eau ont été redressés par la suite et des tranchées ont été creusées pour mieux assécher les prairies et les prés de fauche humides dans la vallée du cours d'eau. En outre, on a aménagé des étangs à poissons, des ruisseaux à moulins et des fossés.

Dans la partie supérieure du réseau hydrographique aussi, beaucoup de choses ont changé. Ici aussi, les tourbières et les marais régnaient autrefois en maîtres, rendant impossible toute exploitation agricole. Mais l'homme a systématiquement drainé ces marais en creusant des tranchées dans le prolongement du cours supérieur des ruisseaux. Au fil du temps, ces cours d'eau creusés ont pris un aspect plus naturel, nous laissant croire aujourd'hui que les cours d'eau ont toujours coulé jusqu'en haut des bassins versants. Or, le paysage naturel originel était donc fondamentalement très différent, et ce jusqu'aux capillaires.

Comparé à de nombreuses autres régions des Pays-Bas et de Belgique, le bassin de la Gueule n'est urbanisé que de manière limitée. On n'y trouve pas de vastes zones urbaines et l'urbanisation y est plus fragmentée. Cependant, on trouve de plus petites villes et petits villages partout dans toute la région. C'est surtout dans la secon-



Le bassin versant de la Gueule avec ses cours d'eau et ses sous-bassins.

de moitié du 20<sup>e</sup> siècle que la construction et le revêtement en dur (dont de nombreuses routes asphaltées) ont entraîné une forte augmentation de la vitesse d'écoulement des eaux pluviales. En outre, l'agriculture s'est considérablement développée, en particulier sur les plateaux et les pentes douces. De nombreux champs et prairies à petite échelle ont fait place à des prés de fauche, des pâturages et des champs (de maïs) exploités à grande échelle et de manière intensive.

Outre l'utilisation des terres, le système hydrique lui-même a également fondamentalement changé. En particulier, les drainages en surface (fossés, ruisseaux creusés) et souterrains (conduites et tuyaux) ont permis aux eaux souterraines, aux eaux d'infiltration et aux eaux de pluie de parvenir plus rapidement dans les cours d'eau.

En outre, au fil des siècles, la superficie des forêts a considérablement diminué, réduisant ainsi la "capacité d'interception des eaux de pluie" du paysage. Tous ces changements ont eu pour effet d'accélérer le réseau hydrographique et d'assécher le paysage.

#### 4.2 Utilisation actuelle des terres

Dans le bassin de la Gueule, l'utilisation des sols consiste en une alternance de forêts, de prairies, de terres arables, d'eaux de surface et de surfaces imperméabilisées. En ce qui concerne les terres arables, il convient de faire la distinction entre le maïs et les autres cultures, et en ce qui concerne les surfaces imperméabilisées, entre les zones bâties et les routes. Les superficies des différentes utilisations du sol sont indiquées dans le tableau pour chaque sous-bassin.

La superficie des surfaces rendues imperméables (routes comprises) couvre environ 16 % de l'ensemble de la vallée de la Gueule, mais peut atteindre 20 % de la superficie d'un sous-bassin. Dans la partie néerlandaise du bassin versant, les terres arables sont relativement nombreuses. Les champs de maïs sont les plus répandus aux Pays-

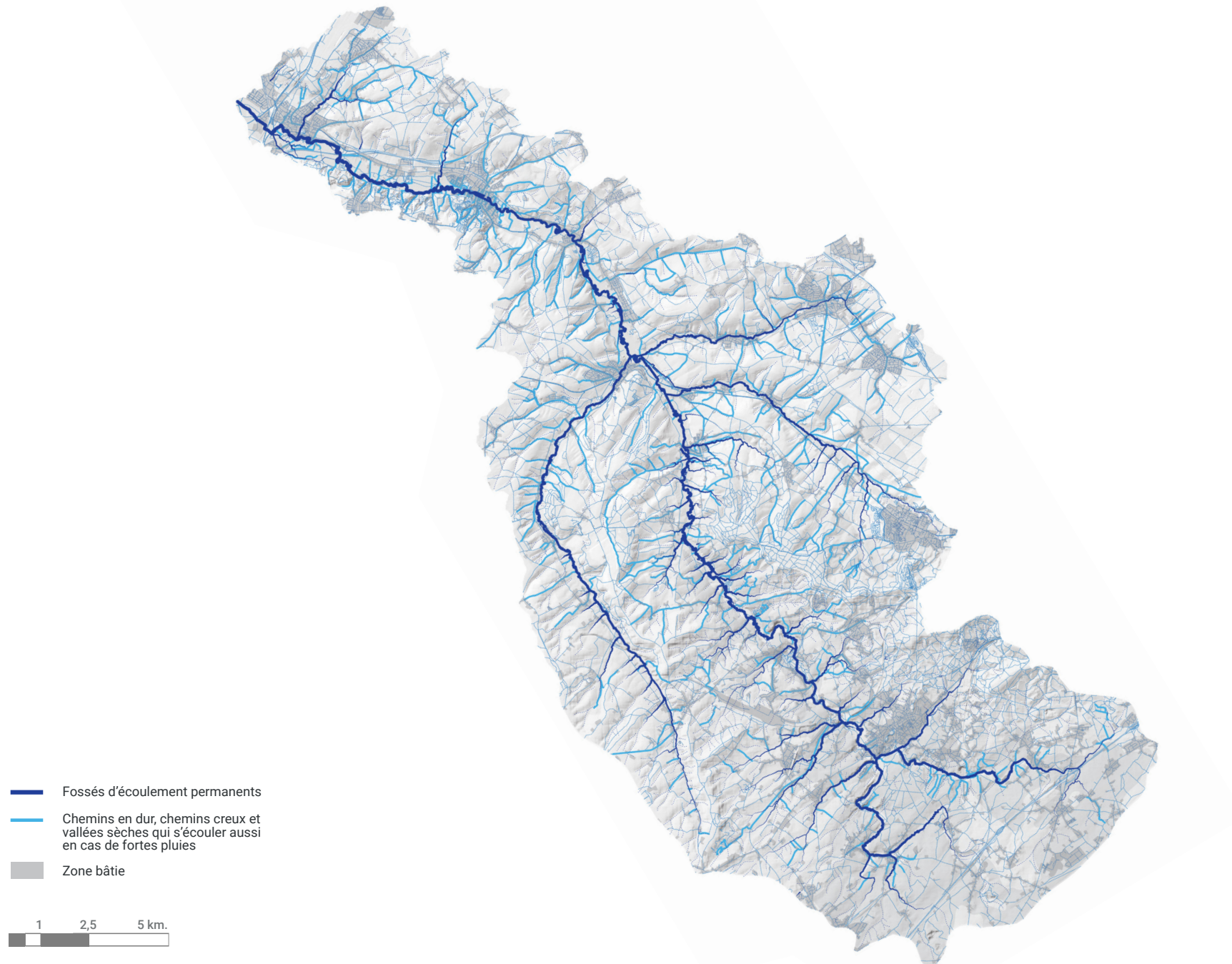
Bas. On retrouve des pâturages partout, surtout dans les parties belges du bassin versant, mais également dans le cours supérieur de la Gueule et dans la vallée de la Gulp aux Pays-Bas. C'est dans la haute vallée de la Gulp, en Wallonie, que la couverture forestière est la plus élevée (25 %). Dans les autres sous-bassins, elle varie de 15 à 20 % ; il n'y a qu'à Eyserbeek que la superficie forestière n'est que de 5 %.

Lors d'une période de précipitations intenses, les routes fonctionnent telle une extension des cours d'eau, car l'eau qui tombe dessus ruisselle directement sur la route (voir également chapitre 2). Ceci ne vaut pas seulement pour les routes asphaltées. En effet, une grande quantité d'eau s'écoule également des chemins non artificialisés pendant les précipitations. Dans la vallée de la Gueule, il y a environ 30 à 40 m de routes imperméabilisées et de chemins non imperméabilisés par hectare, tandis que le réseau hydrographique ne fait souvent que 5 à 10 m de long par hectare. Le rôle joué par les routes et chemins lors des pics de précipitations dans l'écoulement rapide des eaux est donc nettement plus important que celui des cours d'eau.

#### 4.3 Système hydrographique actuel

La diversité géologique du bassin versant (telle que décrite au chapitre 3) est déterminante pour le réseau hydrographique, notamment en ce qui concerne la capacité d'infiltration. Les calcaires et grès mésozoïques et les sols de sable et de loess pléistocènes affleurants principalement du côté néerlandais, sont généralement bien perméables, tandis que les anciennes roches paléozoïques, les sables verts de Vaals et les couches de limon déposées dans les vallées des ruisseaux, que l'on retrouve principalement en direction de la Belgique, sont au contraire peu perméables.

La géologie a également une influence sur la morphologie. Elle se compose grosso modo de plateaux, de pentes entrecoupées de vallées (sèches) et de plaines alluviales. Les parties les plus pentues du



Carte du "système hydrique hybride" qui, en cas de précipitations intenses, évacue l'eau de pluie par les ruisseaux ainsi que par les vallées sèches, les chemins creux et les routes pavées.

bassin (> 12 %, comme la basse vallée de la Gueule) sont généralement constituées de roches et de sols relativement bien perméables où pousse généralement une végétation luxuriante (forêts et prairies sauvages). Par conséquent, ce ne sont par définition pas nécessairement ces parties du terrain qui fournissent le plus d'eau dans la vallée du ruisseau lors d'un épisode de précipitations. De nombreuses parties moins pentues (< 7 % comme la haute vallée de la Gueule) du bassin versant sont précisément caractérisées par des couches rocheuses relativement imperméables et des sols minces (notamment dans la partie wallonne) ou par la présence de champs (principalement du maïs fourrager à germination tardive) et/ou de canalisations de drainage. Par conséquent, ce sont souvent les pentes les moins raides qui contribuent de manière relativement importante aux crues et aux inondations.

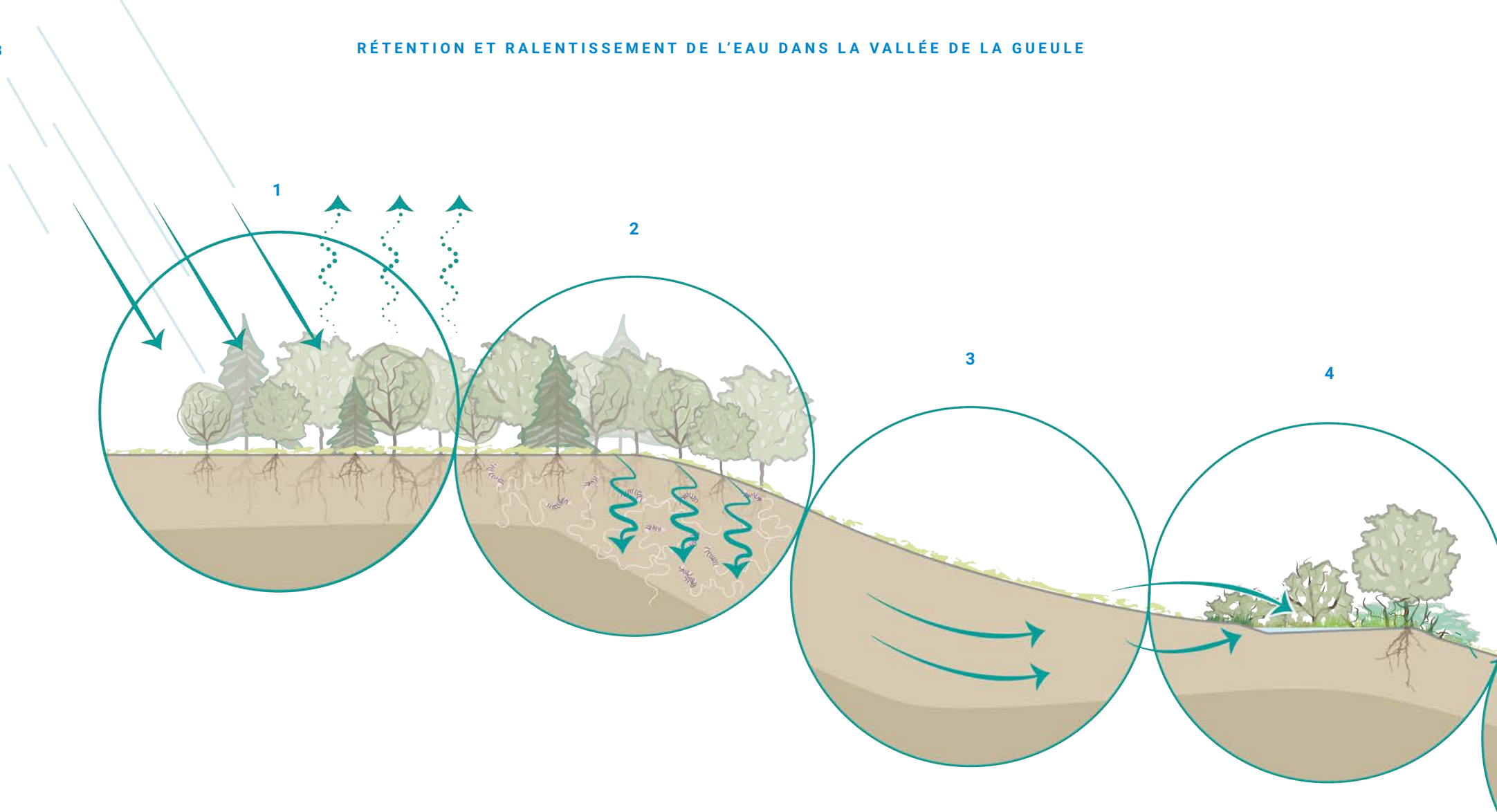
Lorsque nous parlons du réseau hydrographique, nous nous intéressons souvent aux eaux de surface ou aux cours d'eau permanents. Il ne s'agit toutefois que d'une partie limitée du réseau hydrographique, que l'on pourrait qualifier de "réseau hydrographique rapide", car l'eau, une fois qu'elle atteint le ruisseau, s'évacue relativement rapidement du bassin versant. L'eau qui ruisselle des collines (ce qui ne se produit en fait que lors de pluies diluviennes ou de phénomènes de précipitations très longs) et notamment les eaux souterraines, s'écoulent beaucoup plus lentement dans le bassin hydrographique. Les éléments naturels et non naturels du réseau hydrographique qui ne sont des vecteurs d'eau que lors de quantités de précipitations plus ou moins importantes forment une catégorie à part : routes et chemins imperméabilisés, tuyaux de drainage et vallées sèches. Lorsqu'ils sont à l'état de vecteurs d'eau, ces derniers font donc également partie du système hydrique rapide.

La végétation est un élément non négligeable du système hydrique. Elle absorbe en effet beaucoup de précipitations, surtout pendant

le semestre d'été, lesquelles sont en partie renvoyées dans l'atmosphère par évaporation et transpiration (vapeur d'eau exhalée par la végétation) et en partie retardées, grâce aux branches et aux troncs, avant d'arriver au sol, où elles ont le temps de s'infiltrer. Durant les mois d'été également, la végétation joue un rôle important en "asséchant" le sol, donnant à celui-ci plus d'espace pour absorber les précipitations.

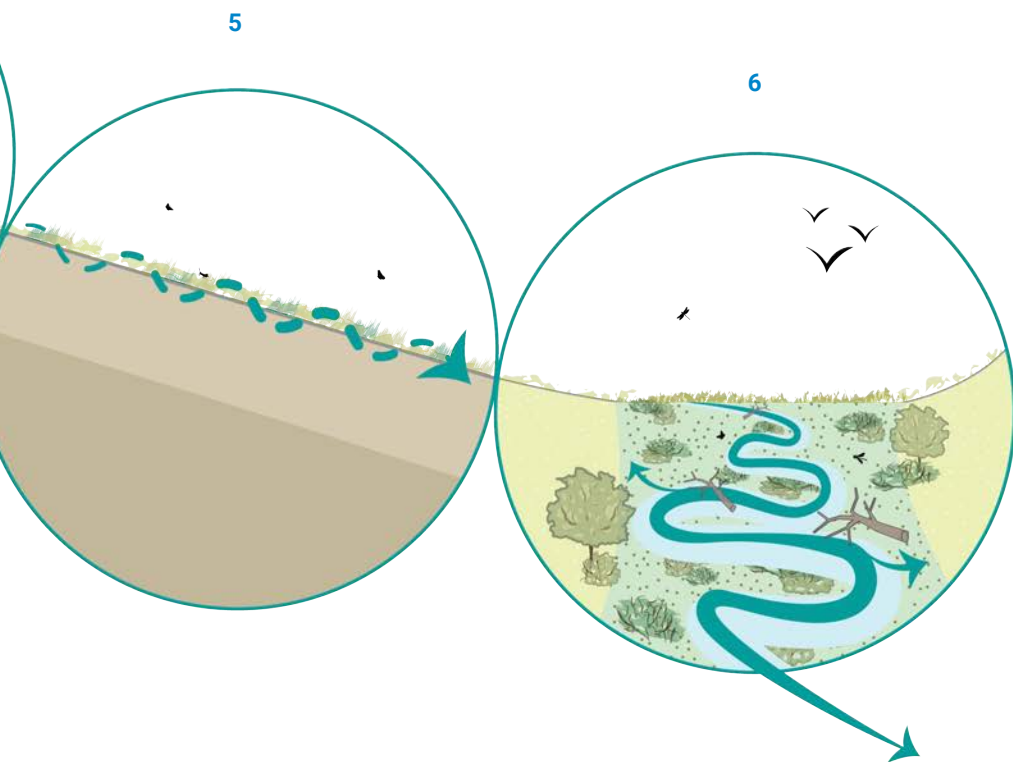
#### 4.4 Système hydrique artificiel : drainage, routes, pavages et cours d'eau creusés

Comme décrit ci-dessus, le système hydrique naturel a reçu un certain nombre de "prothèses" sous forme de revêtement en dur (routes, mais aussi constructions), de champs nus et de drainage en surface et en sous-sol des parcelles agricoles, qui accélèrent la vitesse de l'eau dans une large mesure. L'action de l'homme a ainsi créé un système hydrique hybride, dont le réseau d'écoulement concentré et rapide qui croît au fur et à mesure que les quantités de précipitations augmentent. Ces extensions artificielles constituent un maillon important dans l'accélération du voyage de la goutte de pluie à travers le bassin versant et, partant, dans l'apparition de crues, d'inondations et de sécheresses.



Le voyage de l'eau dans le paysage, y compris les possibilités de la ralentir.

## 5. LE VOYAGE DE L'EAU

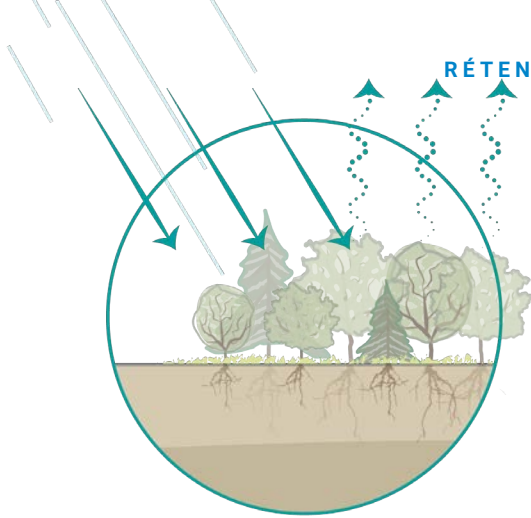


Les faits décrits dans les chapitres précédents déterminent fortement le fonctionnement hydrologique de la vallée de la Gueule. L'hydrologie de la vallée de la Gueule est très complexe en soi, mais elle peut s'expliquer étape par étape par le trajet qu'une goutte de pluie parcourt depuis le moment où elle s'approche de la surface du sol jusqu'à ce qu'elle quitte la zone en passant par le système hydrique.

L'eau de pluie voyage à travers le paysage et, en chemin :

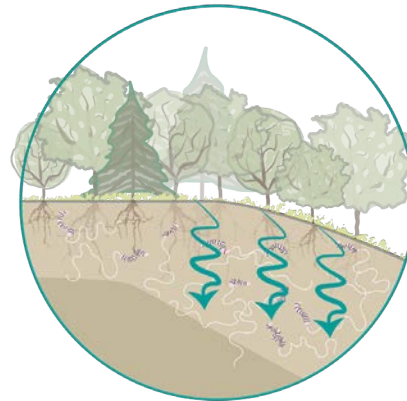
1. l'eau est interceptée par la végétation
2. l'eau s'infiltré dans le sol
3. l'eau s'écoule sous terre et remonte (en partie) à la surface
4. l'eau ruisselle en surface sur les terres
5. elle se concentre dans les fossés, les chemins creux et les vallées sèches
6. l'eau atteint le cours d'eau et s'écoule à travers le lit du cours d'eau.

A chacune de ces six étapes, l'eau peut être ralentie par la nature. En suivant l'itinéraire d'une goutte de pluie depuis la source jusqu'à l'embouchure, les pages suivantes démontrent à quoi ressemblent les techniques de ralentissement.



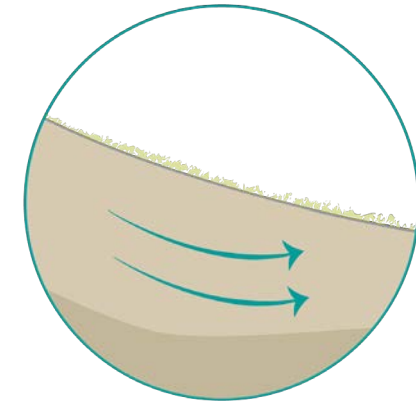
### 5.1 Interception de la pluie avant qu'elle ne touche le sol

La goutte de pluie qui tombe du ciel pénètre rarement directement dans les eaux de surface. Dans un paysage naturel ou dans un paysage de culture estival, il est également peu probable que cette goutte tombe sur le sol, mais plutôt qu'elle touche d'abord la végétation. Le voyage d'une goutte de pluie commence dès lors souvent sur une feuille ou une branche, où elle reste un moment avant de s'évaporer, ou est guidée le long du tronc de l'arbre jusqu'au système racinaire. Une forêt composée de plusieurs couches de végétation est celle qui ralentira le plus la goutte. Là où la végétation stratifiée et structurée fait défaut, ou si elle est complètement absente, il est nécessaire de la restaurer.



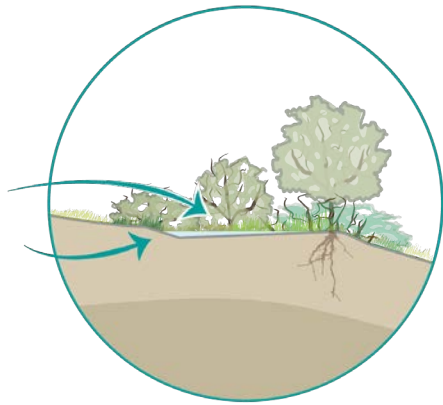
### 5.2 Infiltration au sol

Durant une averse, la partie de l'eau qui finit par atteindre le sol va s'infiltrer dans celui-ci après s'être éventuellement accumulée dans une flaque. La capacité d'infiltration dépend du type de sol et de l'utilisation des terres. En outre, le degré de déclivité de la pente a une incidence sur la capacité de l'eau à s'infiltrer dans le sol. Plus la végétation est dense, plus la couche de paillis et d'humus est épaisse et plus le sol contient de la matière organique permettant une bonne absorption de l'eau. Lorsque les surfaces en dur et fortement compactées ralentissent la capacité d'infiltration, ou même la réduisent à zéro, les précipitations se transforment directement en eaux de ruissellement. C'est là que des mesures doivent être prises afin de favoriser l'infiltration dans le sol, car le ruissellement de surface rapide constitue la principale cause d'inondation.



### 5.3 Stockage en sous-sol

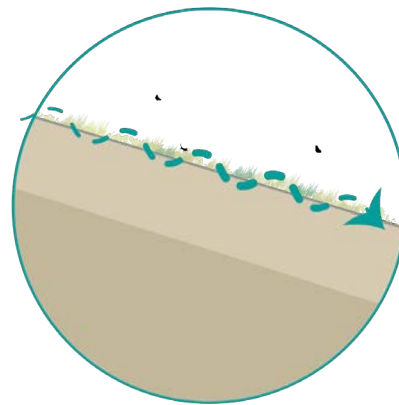
Une fois infiltrée dans le sol, l'eau poursuit lentement son chemin sous terre. Plus l'eau reste longtemps dans le sol, plus son parcours est lent. Là où l'homme utilise des drainages pour accélérer l'écoulement de l'eau du sol, la solution passe par l'élimination des drainages et le colmatage des fossés. Les routes qui s'insèrent dans les couches aquifères du sol agissent également tels des fossés de drainage. Une telle incision doit donc être évitée ou réparée.



#### 5.4 Réacheminer les eaux de ruissellement superficielles dans le sol

Les précipitations qui n'ont pas ou peu eu la possibilité de s'infiltrer dans le sol descendent le long des pentes. Souvent, sur la colline, l'eau se concentre déjà dans des dépressions peu profondes qui se succèdent de haut en bas (dites voies d'écoulement peu profondes). Un microrelief ou une végétation sauvage peuvent ralentir ce ruissellement en surface.

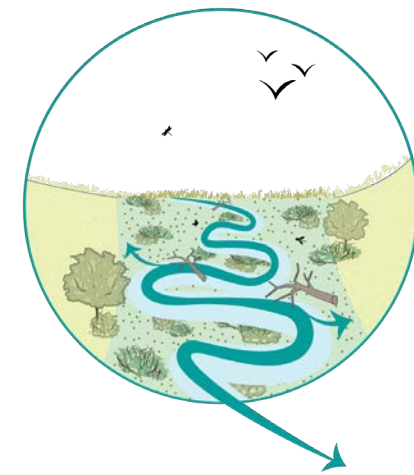
Lorsque la rugosité naturelle due au microrelief et à la végétation est absente ou est insuffisante, il faut s'efforcer de collecter les eaux de ruissellement quelque part sur la pente pour leur permettre de s'infiltrer à nouveau.



#### 5.5 Répartir l'afflux d'eau

L'eau qui s'écoule le long de la pente s'accumule dans des chenaux peu profonds et des cours d'eau. Les cours d'eau provenant de toutes les directions canalisent en peu de temps l'eau dans une vallée. L'eau affluant ainsi se calme naturellement dans une vallée (humide) dans laquelle s'est développée une végétation hygrophile luxuriante et sauvage. L'eau s'y infiltre alors lentement et en largeur.

En l'absence d'un tel marais, l'eau se concentre en un ruisseau puissant et rapide. Il importe dès lors que le point où l'eau forme un ruisseau soit situé le plus bas possible.



#### 5.6 Ralentir l'eau des cours d'eau dans la plaine alluviale

L'eau arrivée dans le ruisseau de la vallée principale par les petites vallées latérales s'écoule beaucoup plus rapidement que lorsqu'elle s'écoulait encore sous terre, sur un terrain rugueux ou à travers un marécage. C'est un fait naturel. L'eau subit un certain retard naturel dans les méandres et sur les bancs de gravier avec de la végétation dans son lit. En cas de crue, l'eau rencontre une résistance relativement plus importante de la part du sol et de la végétation sur les berges.

Lorsqu'un (tronçon) de cours d'eau a subi une rectification linéaire ou que le cours d'eau en période de crue n'a pas la possibilité de s'écouler dans la plaine alluviale, une situation dangereuse se présente avec des eaux extrêmement hautes et à débit rapide. La restauration des méandres et des processus de reméandrage améliore la sécurité. Ceci vaut également si on laisse les arbres tombés ou les barrages de castors endiguer les ruisseaux dans les zones naturelles, permettant ainsi à la plaine alluviale d'être inondée à cet endroit.



Exemple de restauration d'un ruisseau dans la partie amont de la Gulp, où le cours d'eau peut à nouveau occuper toute la largeur de la plaine alluviale.

Les solutions naturelles ont le pouvoir de ralentir l'écoulement des eaux. Elles permettent ainsi de lutter non seulement contre les inondations, mais aussi contre les pénuries d'eau et les coulées de boue. En outre, les solutions naturelles apportent d'autres qualités au paysage, telles que l'augmentation de la biodiversité et l'attrait touristique. Les mesures spatiales naturelles peuvent également capter davantage de carbone, réduire le stress thermique et former une zone tampon le long d'une nature précieuse contre les apports indésirables d'azote ou d'autres substances. Les solutions naturelles abordent le paysage de manière globale, tandis que les solutions techniques sont conçues pour servir un seul objectif. En outre, ces mesures restent efficaces (longtemps) et complémentaires même en cas de précipitations très intenses. Dans le même temps, elles contribuent à lutter contre la sécheresse et contre l'érosion des pentes. En amont, les mesures naturelles sont donc efficaces, généralement faciles à intégrer et surtout fiables.

Les six principes du chapitre 5 suivent le parcours d'une goutte de pluie, depuis le haut du paysage jusqu'en bas. Ils se rapportent donc à des parties spécifiques du paysage. Tout d'abord, les bordures de plateau au sommet du bassin hydrologique, avec en dessous les pentes abruptes et les pentes plus douces, souvent entrecoupées par des vallées sèches. Ensuite, les capillaires ou les têtes du réseau hydrographique avec, en contrebas, les tronçons supérieurs et inférieurs des cours d'eau. Et enfin, les artefacts humains : les routes asphaltées ou pavées et les centres urbains. Pour chacune de ces zones paysagères, des mesures ont été définies en vue de ralentir les eaux de pluie grâce à des solutions naturelles.

## 6. TRAVAILLER AVEC LA NATURE

### Mesures sur les plateaux

Le bassin de la Gueule constitue essentiellement un plateau entaillé par des ruisseaux. Les plateaux ne sont jamais complètement plats. Sur les versants, où ils se transforment lentement en pentes, ils deviennent de plus en plus raides et le risque que les eaux de pluie ruisselant en surface aboutissent rapidement dans le cours d'eau devient de plus en plus grand. Ce phénomène se produit en particulier au niveau des transitions vers les vallées sèches, là où tant les eaux souterraines qu'éventuellement les eaux de ruissellement en surface vont se concentrer. Il est donc important de travailler sur le ralentissement de l'eau à cet endroit également.

Dans les zones plus planes, il est dès lors important que le sol puisse se développer correctement. Les principales mesures à prendre sont : une quantité suffisante de matière organique, le respect de la vie du sol, une forte réduction de l'utilisation des pesticides, et éviter de laisser des champs nus, notamment en travaillant moins de cultures à germination tardive, comme le maïs. Ces mesures sont donc principalement liées à l'utilisation du sol et à la gestion des terres. Il ne s'agit pas de mesures d'aménagement, c'est pourquoi elles ne sont pas développées en détail dans ce chapitre.

### Mesures sur les pentes

Sur les pentes, depuis la bordure du plateau jusqu'au fond de la vallée, on distingue quatre mesures en fonction de leur position dans le paysage :

1. Développement de la forêt en bordure de plateau ;
2. Pentes raides (>12 %) : conversion des champs en prairies naturelles ;
3. Pentes modérément raides (7-12 %) : développement de bandes d'infiltration le long des champs et des prairies ;
4. Prairies sur les pentes modérément raides et les pentes douces (4-12 %) : suppression du drainage, développement des bosquets et extension de l'utilisation des terres.

### Mesures dans les vallées des ruisseaux

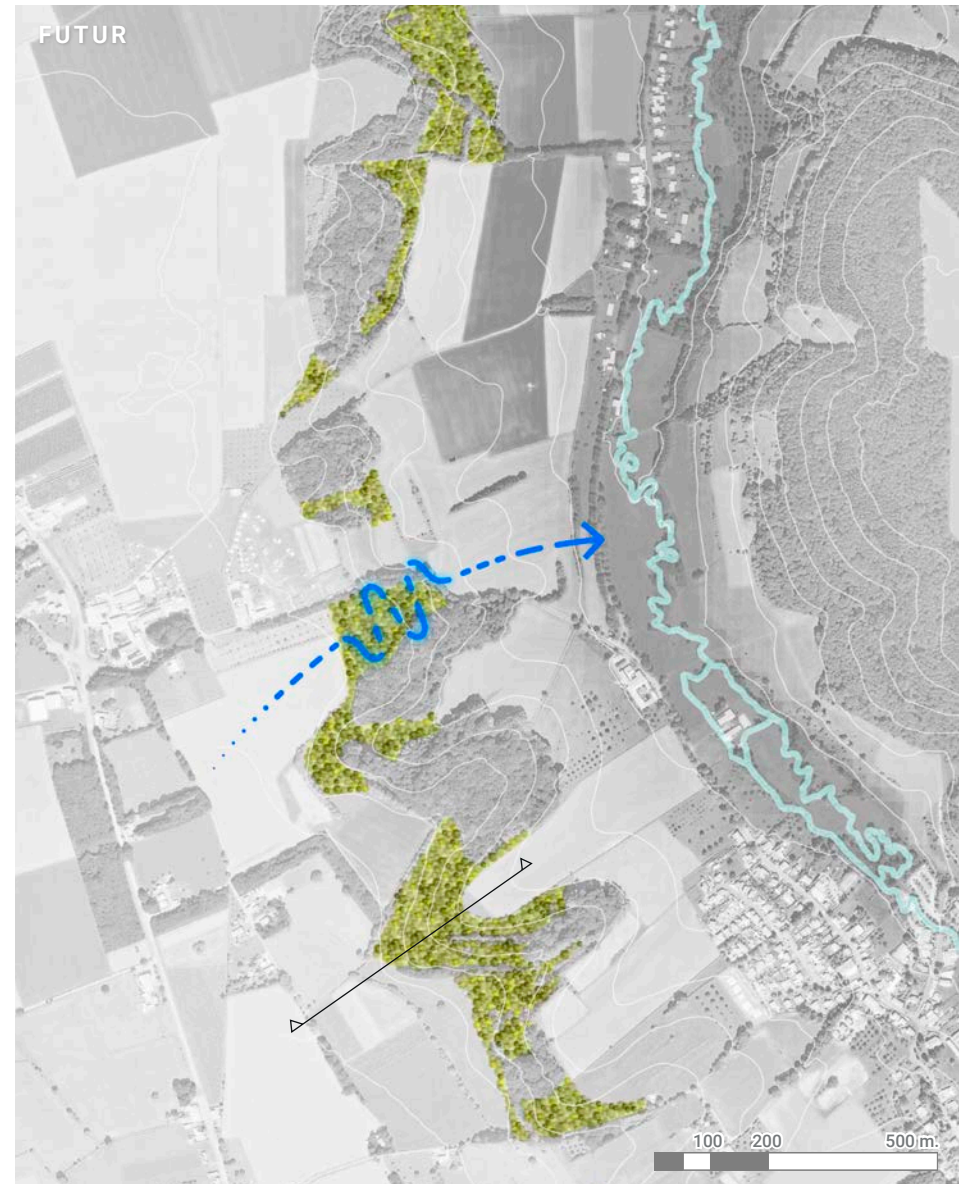
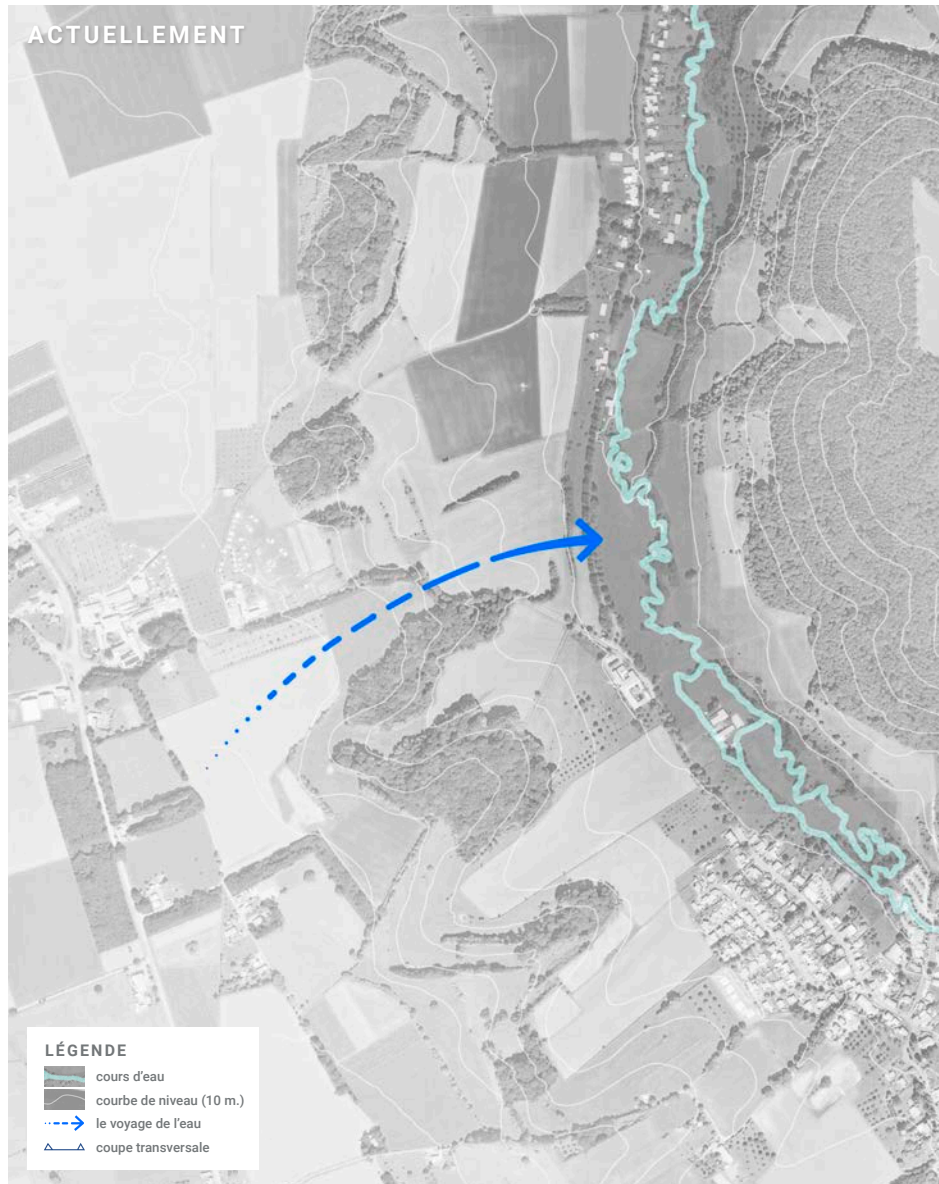
Dans les vallées de ruisseaux également, les mesures dépendent fortement de la position dans le réseau hydrographique : tout en haut du bassin versant, dans les petits affluents en amont ou dans la large plaine en aval. On distingue trois types de mesures :

5. Au sommet du bassin versant : augmenter la spongiosité du sol en atténuant les extensions des cours d'eau excavés et en développant les marais ;
6. Ruisseaux étroits en amont : diriger l'eau plus tôt dans la plaine alluviale en rendant le lit du cours d'eau moins profond, développement de l'habitat du castor (barrages de castor), du bois mort et reméandrage des cours d'eau ;
7. Grandes vallées, en aval : réserver de l'espace pour le reméandrage et les plaines d'inondation, rendre la plaine d'inondation plus sauvage en développant la végétation afin de ralentir l'écoulement.

### Mesures concernant les surfaces artificialisées

La présence de revêtements en dur dans la zone de captage accélère considérablement le ruissellement. Dans la mesure du possible, le revêtement imperméable doit être remplacé par des matériaux dans lesquels l'eau de pluie peut s'infiltrer. En ce qui concerne les routes notamment, ce n'est pas une solution et il faudra examiner si l'eau ruisselant sur ou le long de la route peut être collectée au mieux dans le paysage contigu, par exemple dans des wadis.

8. Routes asphaltées : détourner l'eau de la route et la laisser s'infiltrer ;
9. Eau dans les chemins creux : la détourner en dehors de ces chemins et la ralentir si possible ;
10. Zones urbaines : augmenter la capacité d'infiltration en supprimant les surfaces pavées et en les verdissant.



Ralentir l'eau en développant de nouvelles forêts.

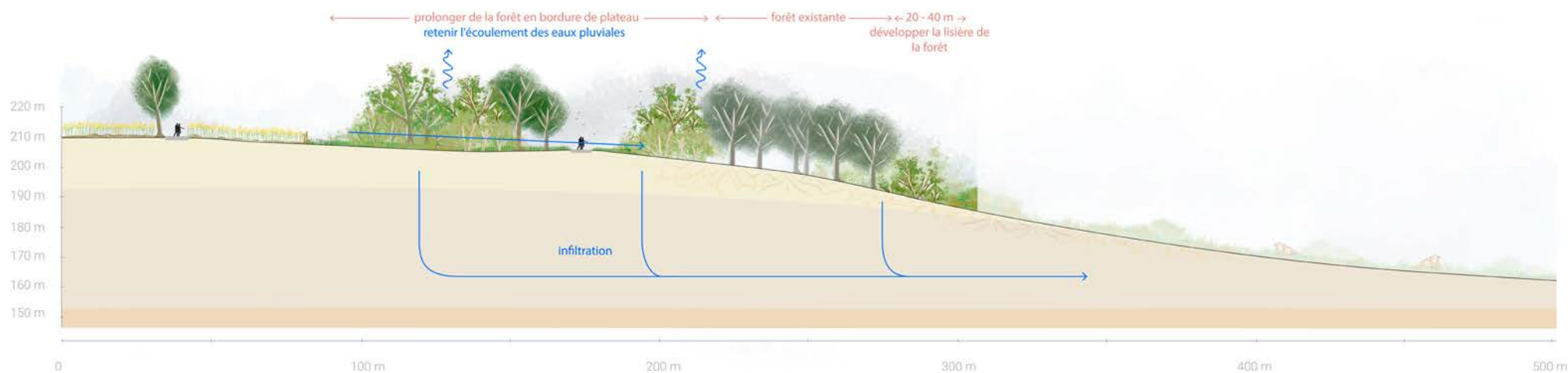
## 6.1 DÉVELOPPER DE NOUVELLES FORÊTS



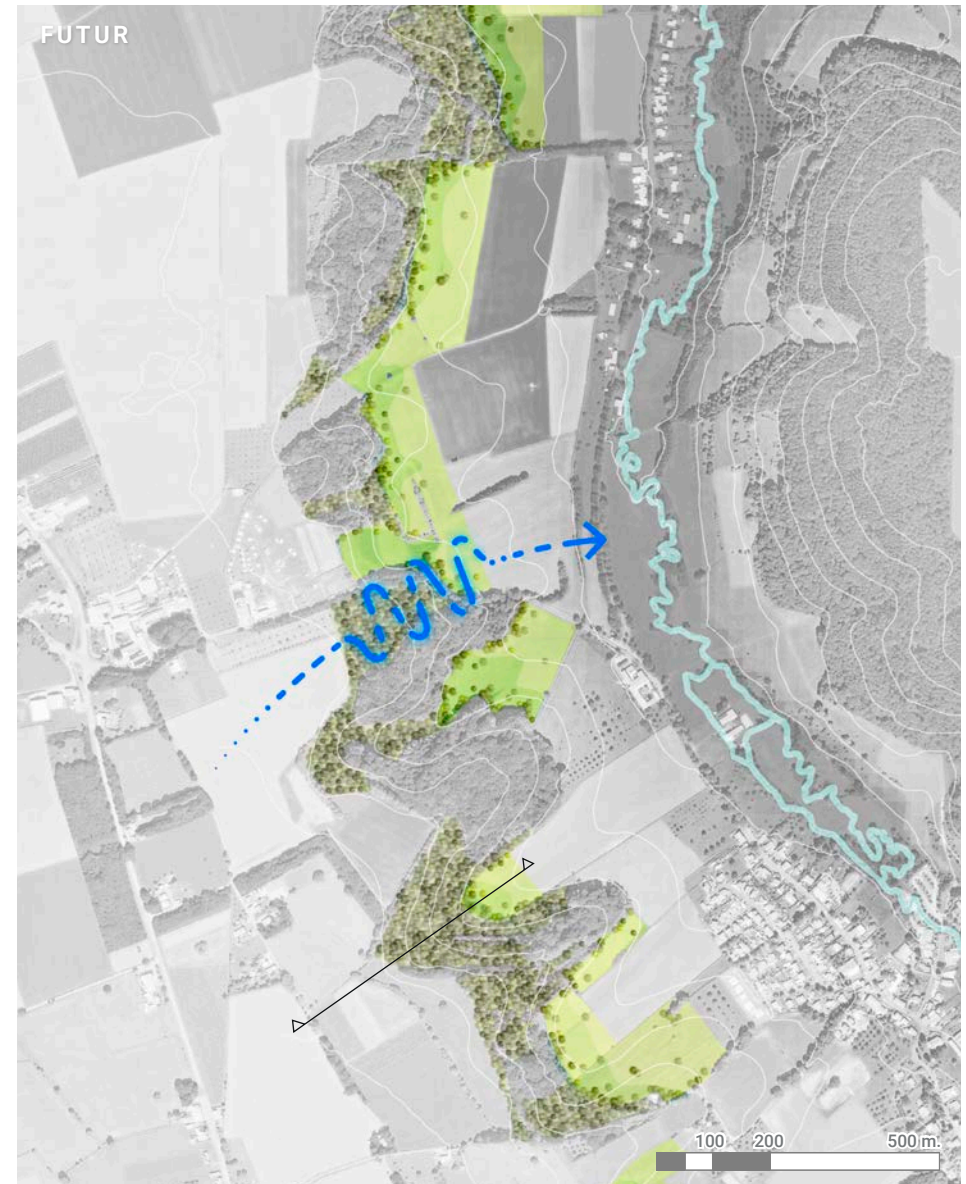
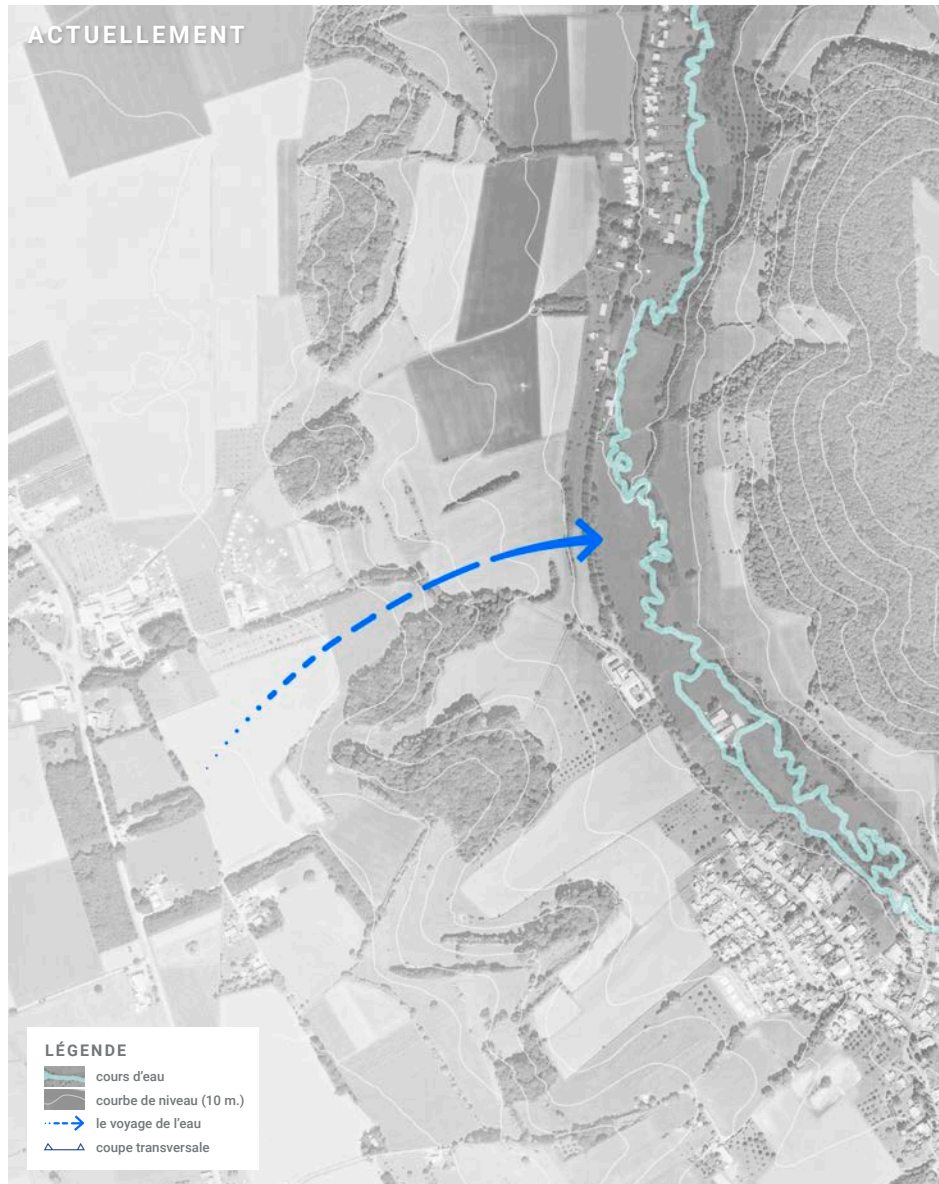
Exemple de la situation actuelle avec des pentes raides à Slenaken (© Google Street View).

Aucune autre utilisation du sol qu'une forêt de feuillus bien développée n'est capable comme elle de capter l'eau de pluie, de la laisser s'évaporer et de la laisser s'infiltrer dans la terre. Le développement de la forêt est donc la mesure prioritaire à prendre en matière de lutte naturelle contre les inondations, les crues ainsi que la sécheresse. En fait, cette mesure est efficace partout, mais plus elle se situe en amont, mieux c'est. Le paysage vallonné du Sud-Limbourg se caractérise généralement par la présence de forêts au sommet de pentes abruptes. Ici, la végétation des sous-bois est parfaitement capable de recueillir l'eau provenant des plateaux et de l'empêcher de s'écouler en bas des pentes.

Le choix de localiser le développement des complexes forestiers contigus principalement sur les rebords des plateaux a également un effet positif sur la perception du Heuvelland. En plaçant les arbres à une vingtaine de mètres au-dessus de la pente, ils ont pour effet de faire paraître les pentes sous-jacentes plus longues et plus hautes qu'elles ne le sont en réalité. Ce relief, unique aux Pays-Bas, est ainsi visuellement bien mis en valeur.



Coupe transversale des forêts nouvellement développées.



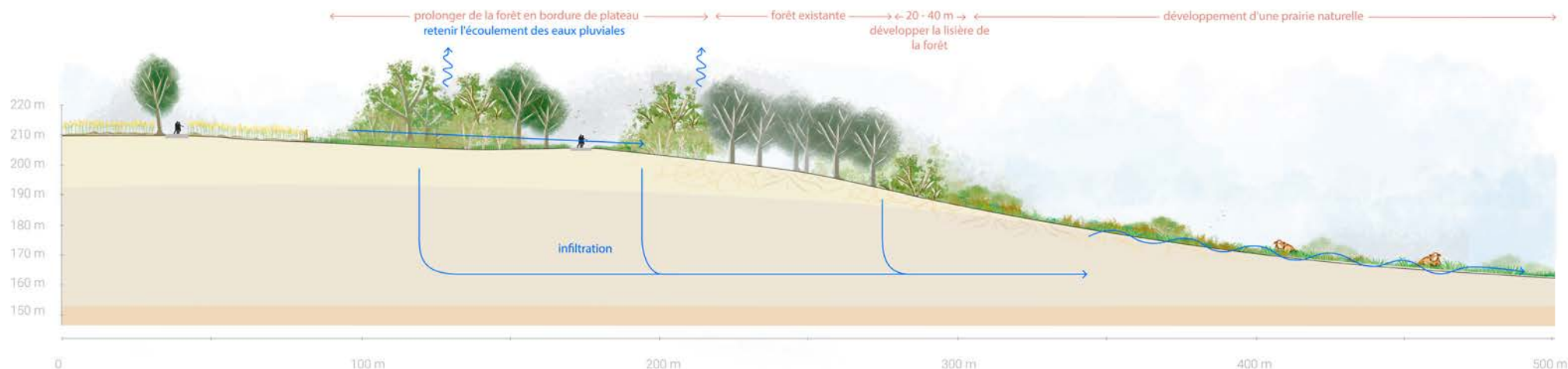
Ralentissement de l'eau en convertissant les champs en prairies naturelles.

## 6.2 CONVERTIR DES CHAMPS EN PRAIRIES NATURELLES



Exemple de prairie naturelle sur une pente raide.

Plus la pente est raide, plus l'eau de pluie s'écoule rapidement en surface. Les champs situés sur de fortes pentes peuvent devenir de véritables autoroutes pour les eaux de ruissellement. De plus, elles provoquent ensuite des coulées boueuses sur les routes et dans les cours d'eau, l'envasement des zones tampons et, lors d'inondations importantes, de la pollution et des odeurs dans les bâtiments. Les cultures à germination lente, telles que le maïs, font que le sol reste nu pendant une longue période en été. Ceci entraîne une dégradation de la structure du sol (battance) et un risque accru de ruissellement rapide sur les plateaux et, à plus forte raison, sur les pentes. Les prairies offrent généralement plus de rugosité et une meilleure infiltration; elles maintiennent également le sol en place. Sur les pentes raides, il s'agit donc de rendre l'ensemble du terrain aussi rugueux que possible avec des prairies naturelles et structurées. Ces prairies forment un ensemble paysager avec la forêt qui les surplombe : une transition naturelle entre les prairies, la végétation de bordure et le manteau végétal jusqu'à la lisière de la forêt. Cette lisière de forêt constitue également le lieu de prédilection des grands mammifères. Ceci vaut également pour l'homme. On pourrait ainsi créer la combinaison parfaite en développant à cet endroit un réseau de sentiers de promenade récréatif qui offrirait les plus beaux panoramas sur les vallées.



Coupe transversale d'un ensemble paysager rugueux sur une pente raide.



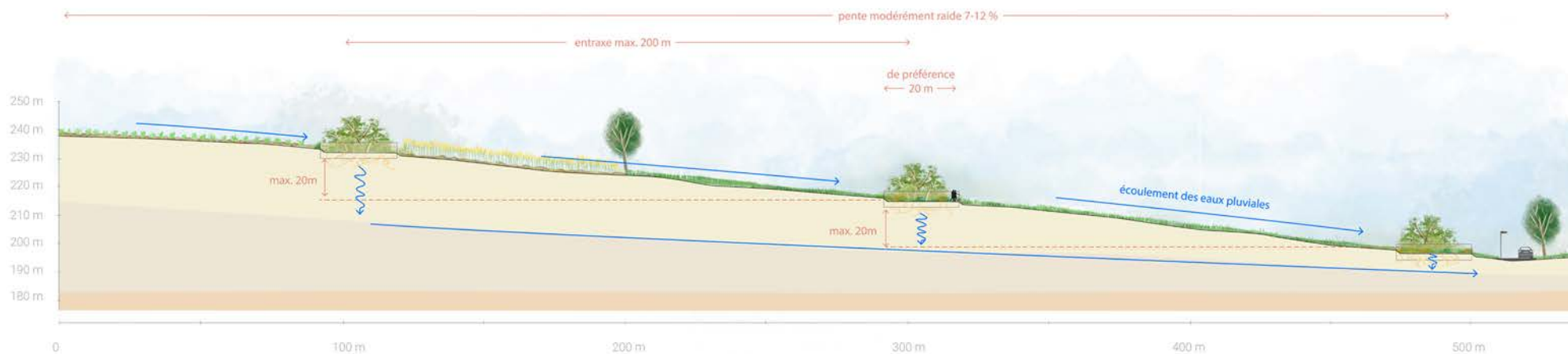
Ralentissement de l'eau en aménageant des bandes d'infiltration.

## 6.3 DÉVELOPPER DES BANDES D'INFILTRATION

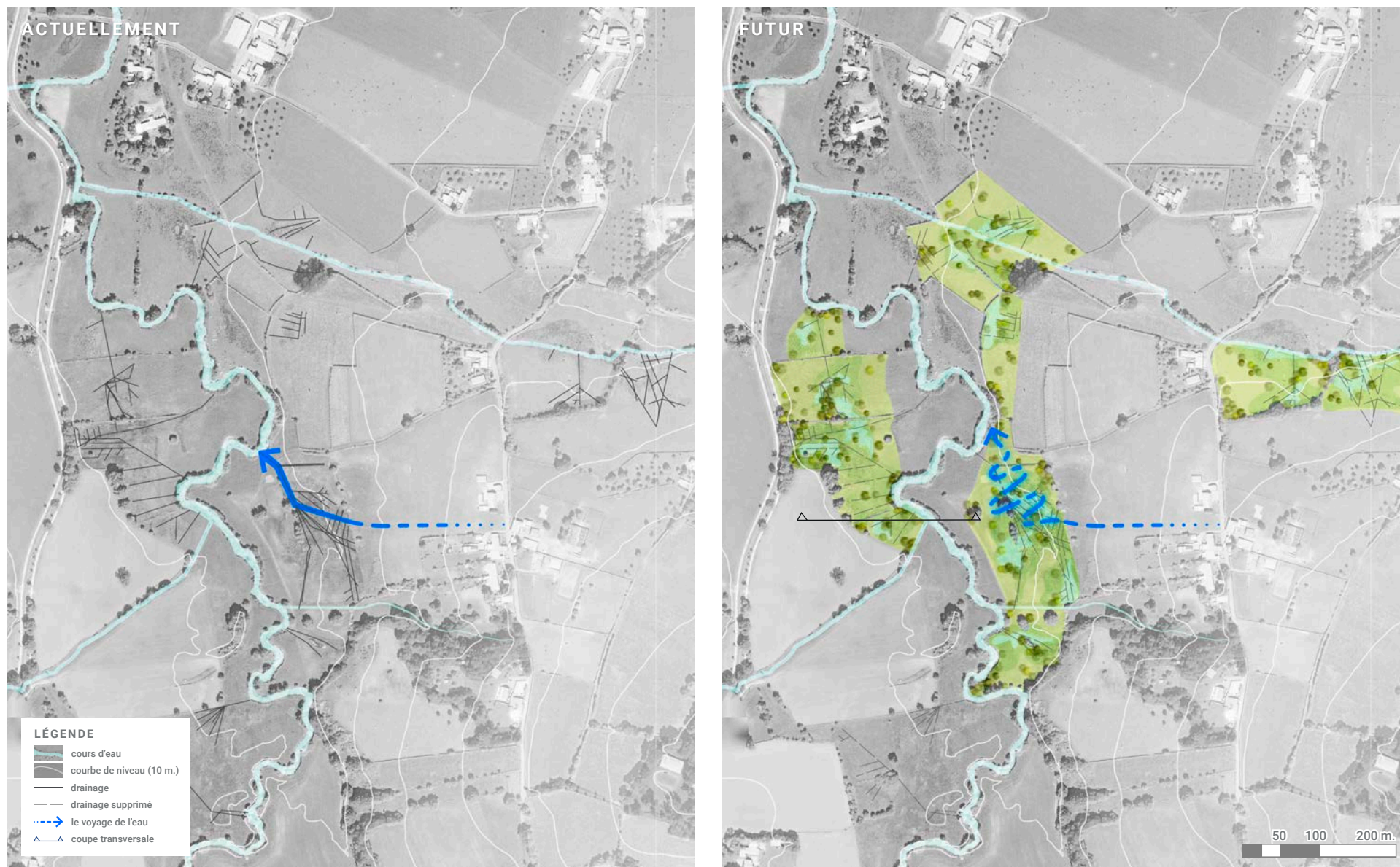


Ralentissement de l'eau en aménageant des bandes d'infiltration

Sur les pentes modérément raides avec des champs et des prairies agricoles uniformes, l'utilisation actuelle peut être poursuivie raisonnablement si les parcelles sont entrecoupées de bandes d'infiltration de 10 à 20 mètres de large, parallèles aux courbes de niveau. Ces bandes sont nettement plus plates que la pente sur laquelle elles se trouvent et sont recouvertes d'une végétation dense. Les eaux de pluie s'écoulant superficiellement sont ainsi ralenties, collectées et peuvent s'infiltrer à travers le système racinaire de la végétation. La distance entre ces bandes d'infiltration dépend de l'inclinaison de la pente et de la capacité d'infiltration. Les bandes d'infiltration sont plus efficaces lorsqu'elles sont aménagées en bas des champs et (donc) également au-dessus des routes traversant la zone de culture. Ceci permet d'éviter que le ruissellement des eaux de pluie ne s'accélère sur la route, de faciliter leur gestion, d'offrir de l'ombre au trafic récréatif et d'orienter le regard vers la vue sur la vallée.



Coupe transversale de bandes d'infiltration sur une pente modérément raide.



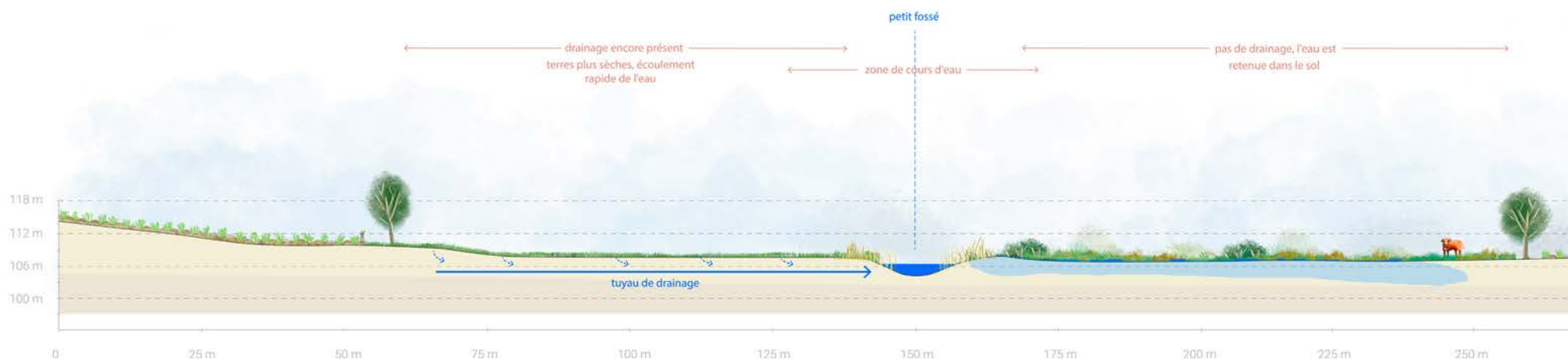
Ralentissement de l'eau en éliminant le drainage souterrain.

## 6.4 SUPPRIMER LE DRAINAGE SOUTERRAIN



Exemple d'une prairie peu après élimination du drainage (© Natuurmonumenten).

Dans les sols relativement plats et peu perméables, les prairies et les champs de production sont souvent équipés de systèmes de drainage souterrains. Ces systèmes accélèrent le drainage de l'eau et font en sorte de rendre les terres accessibles plus tôt dans l'année. Lorsque nous remplaçons ces sites par des prairies texturées, avec des sols biologiquement sains, ce drainage artificiel n'est plus nécessaire. Eliminer le drainage et laisser les éventuelles eaux de ruissellement concentrées (restantes) déboucher sur ces terrains constitue dès lors une bonne mesure. Il est vrai que ces terrains demeureront humides plus longtemps au printemps, mais ils s'assècheront moins rapidement en été. Si l'exploitation agricole est poursuivie, il est recommandé de la zoner et, ce faisant, de bien utiliser le gradient naturel de la parcelle (relativement sec en haut, humide en bas).



Coupe transversale d'un paysage avec drainage souterrain et avec élimination du drainage souterrain.



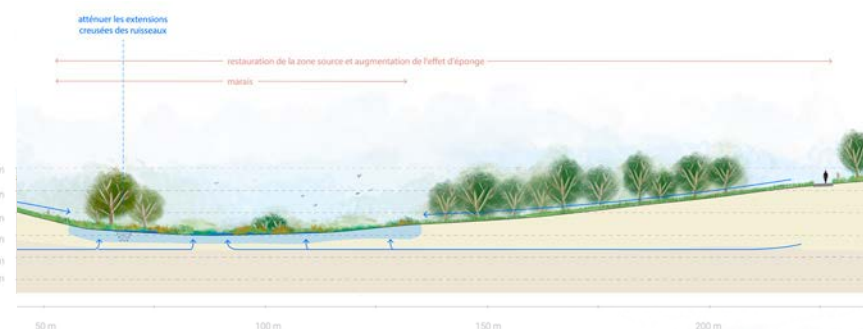
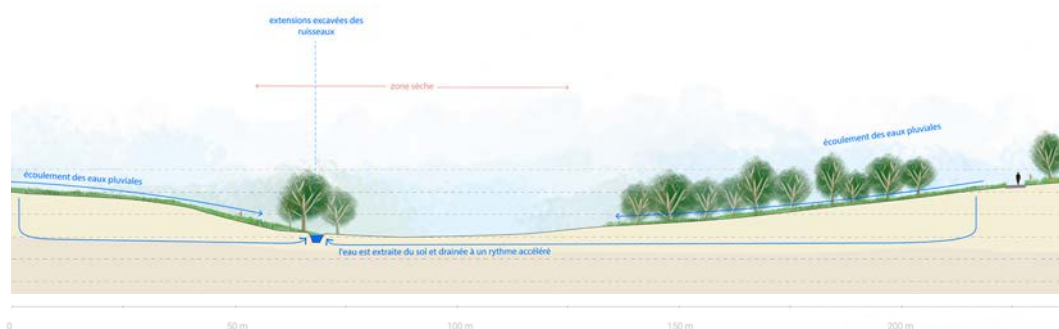
Ralentir l'eau en atténuant les extensions creusées de ruisseaux.

## 6.5 ATTÉNUER LES EXTENSIONS CREUSÉES DES RUISSEAUX

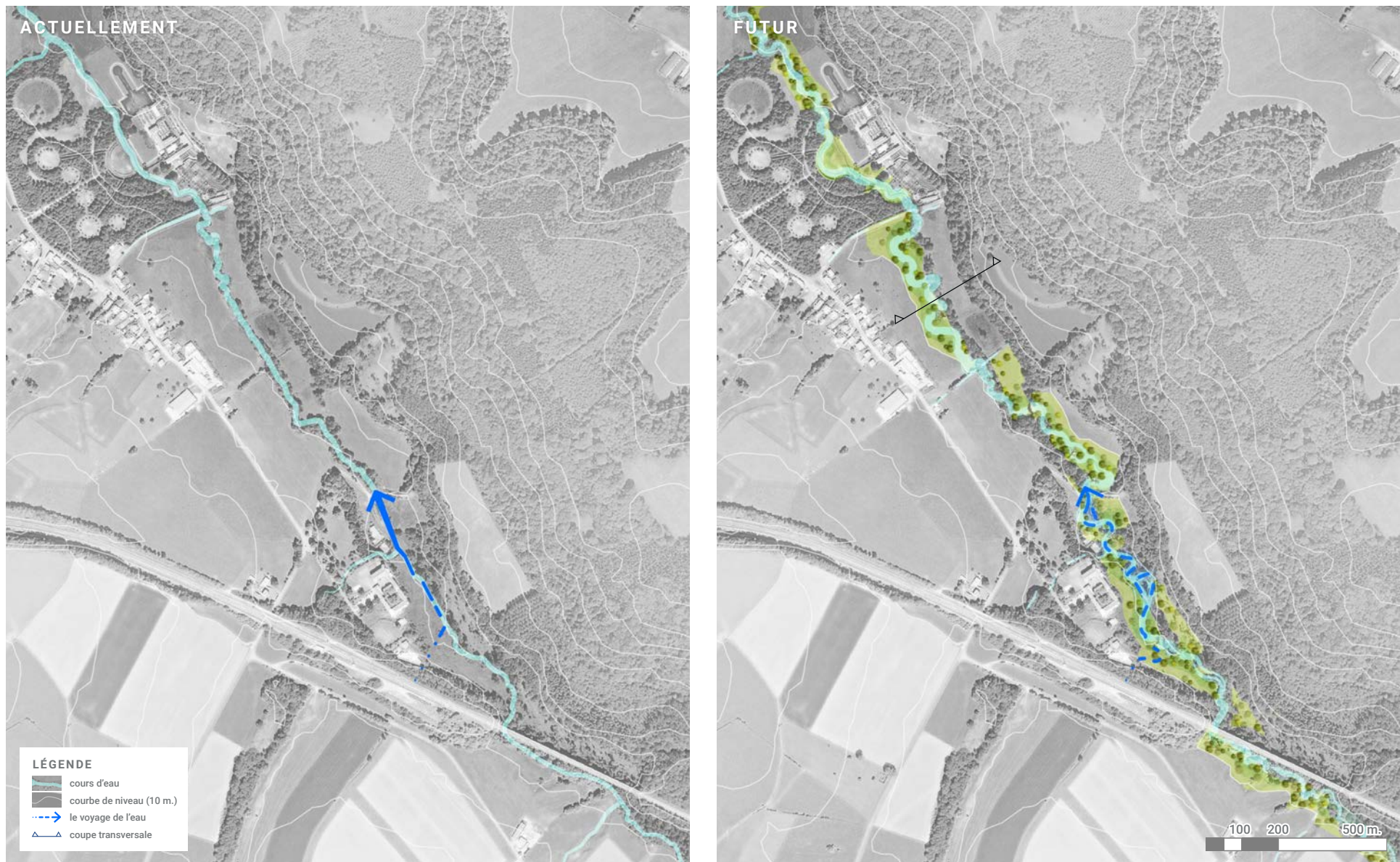


Exemple d'un paysage plus humide, plus naturel et varié.

Dans les extrémités plus planes situées en amont des vallées de cours d'eaux, les eaux souterraines remontant naturellement à la surface ont du mal à s'évacuer. Il s'agit de sols traditionnellement humides, souvent caractérisés par la formation de tourbières. Afin de pouvoir les cultiver, ces sols ont été drainés, la plupart du temps en prolongeant artificiellement la tête des ruisseaux. On a alors l'impression que le ruisseau poursuit sa course, mais parfois le tracé anguleux révèle qu'il s'agit en fait de tranchées de drainage. Celles-ci provoquent non seulement l'assèchement (voulu) de la zone, mais aussi un écoulement anormalement rapide de l'eau de pluie. En amortissant les extensions de ruisseaux creusées à ces endroits et en y aménageant des marais, il est possible d'inverser cette évolution. Le paysage redeviendra alors progressivement plus humide, plus naturel et plus varié. Ceci présente certes moins de perspectives agricoles (axées sur la maximisation du rendement), mais offre davantage de qualité paysagère et s'inscrit parfaitement dans le cadre d'une transition vers une agriculture élargie ainsi que vers le développement d'activités récréatives.



Coupe transversale d'un paysage avec une extension de ruisseau creusée et d'un paysage où l'extension de ruisseau creusée a été atténuée.



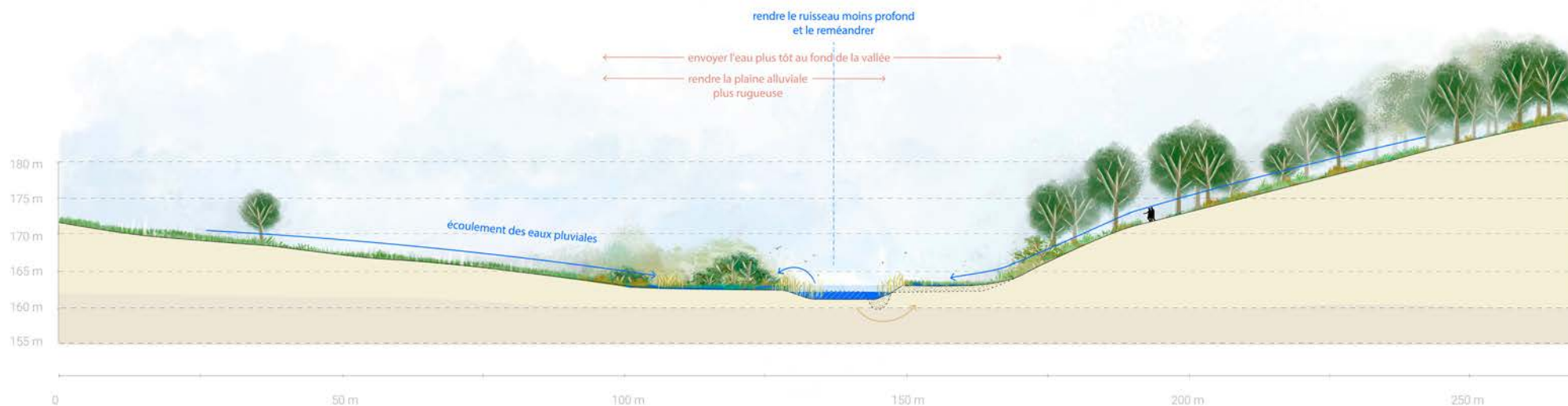
Ralentir l'eau en élargissant, en rendant moins profonds et plus rugueux les cours d'eau en amont.

## 6.6 ELARGIR, RENDRE MOINS PROFONDS ET PLUS RUGUEUX LES COURS D'EAU EN AMONT

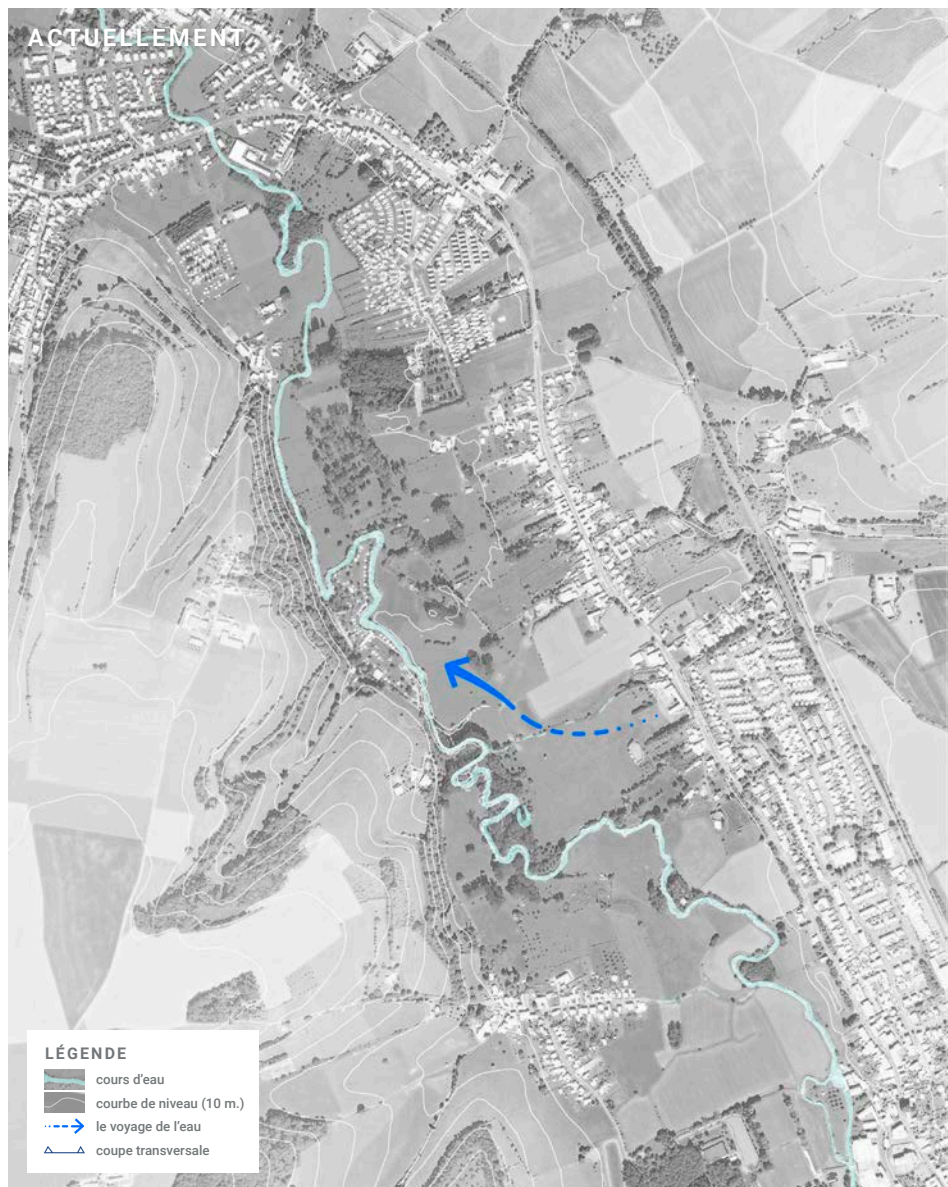


Exemple d'un cours d'eau supérieur profondément encaissé et redressé qui a été élargi, rendu moins profond et plus rugueux.

Le long du cours supérieur des ruisseaux, la vallée du ruisseau est encore relativement étroite, le ruisseau a parfois été fixé ou “reposé” afin de pouvoir cultiver cet espace restreint. Ensuite, le ruisseau s'est souvent profondément incisé à cet endroit. En permettant à la nature dans ces vallées de ruisseaux en amont de reprendre ses droits (en élargissant et en rendant moins profond le lit du ruisseau, en n'éliminant pas les arbres morts et les barrages de castors et en permettant au ruisseau de serpenter à nouveau sur toute la largeur de la plaine alluviale), on répartit l'eau sur une plus grande largeur et on la ralentit. En fait, on tente de rétablir autant que possible la situation naturelle, là où les vallées des cours d'eau en amont étaient autrefois principalement des forêts marécageuses traversées par l'eau (voir aussi chapitre 4).



Coupe transversale d'un cours d'eau élargi et rendu moins profond et plus rugueux.



Ralentissement de l'eau en utilisant la capacité de stockage de la plaine alluviale.

## 6.7 UTILISER LA CAPACITÉ DE STOCKAGE DE LA PLAINE ALLUVIALE



Exemple de végétation pouvant être utilisée pour ralentir davantage l'écoulement dans la plaine alluviale.

Plus en aval (à peu près à partir de Gulpen), la Gueule gagne de l'espace et présente une large plaine alluviale. En 2021, cette plaine a bien assuré la fonction de stockage d'eau, mais a de ce fait également causé de nombreuses inondations. Si l'on tient compte des bâtiments et autres objets vulnérables, on peut utiliser le développement de la végétation afin de ralentir davantage le flux à travers la plaine alluviale. En amont de cette mesure, l'eau est légèrement endiguée, ce qui fera monter les niveaux d'eau à cet endroit. En revanche, en aval, le niveau de l'eau baissera. Cette mesure a donc un effet similaire à celui de la construction de barrages, mais elle agit de manière plus subtile et offre des possibilités de couplage avec les connexions écologiques et le développement du paysage. Il va sans dire que pour ce faire, il convient d'utiliser en particulier les parties non habitées, telles que la vallée de la Gueule en amont d'Epen, la zone entre Mechelen, Partij et Schin op Gueul ainsi que les zones d'Ingendael et de Meerssenerbroek, entre Valkenburg et Meerssen.



Coupe transversale d'une plaine alluviale utilisée comme plaine inondable.



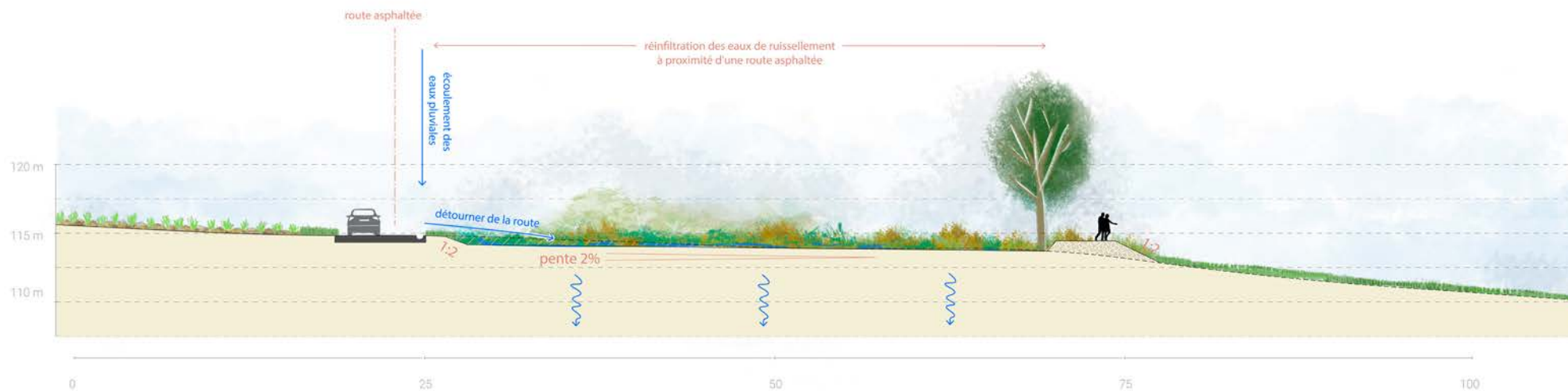
Ralentissement de l'eau en utilisant les bas-côtés des routes.

## 6.8 UTILISER LES ACCOTEMENTS

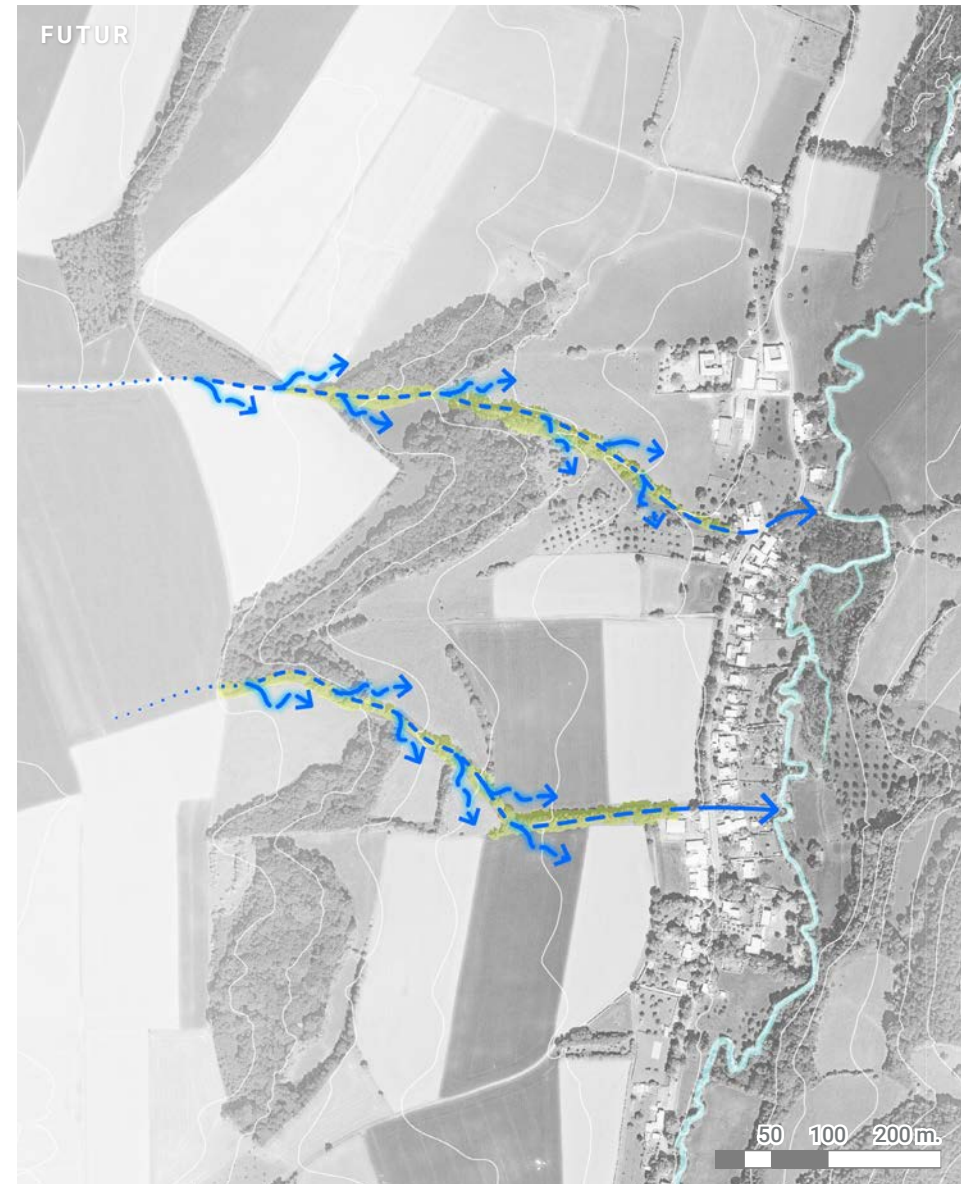
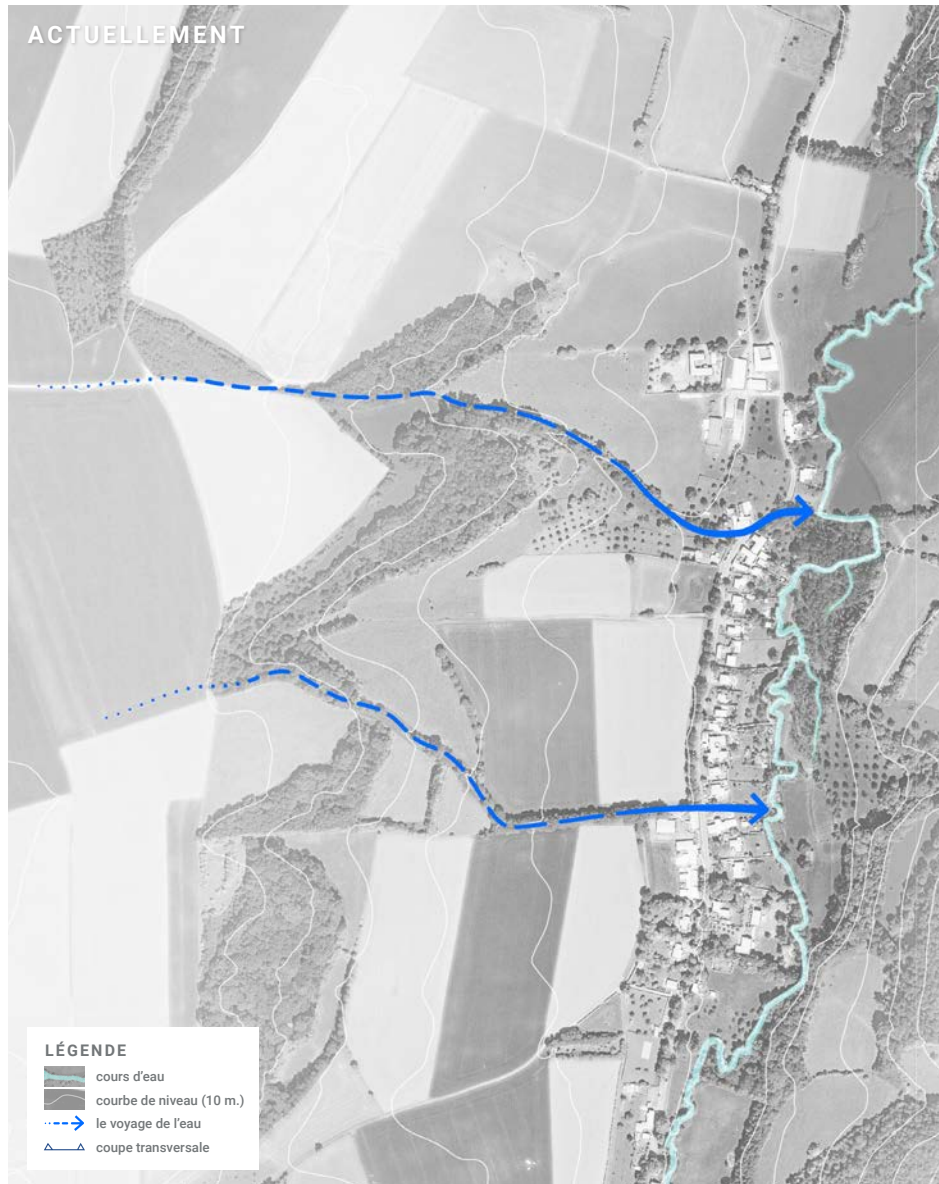


Exemple d'eaux pluviales détournées de la route et collectées sur le bas-côté de celle-ci (© Bureau Stroming).

Comme indiqué plus haut, les routes artificialisées constituent une part essentielle de la problématique des crues. En cas de précipitations, elles agissent comme des extensions du système des eaux de surface, ce qui accélère l'écoulement de l'eau et augmente le pic d'évacuation. Dans la mesure du possible, il faut donc éviter que les eaux souterraines ou les eaux de ruissellement ne soient "coupées" par ces routes. Les bandes d'infiltration (voir 6.3) peuvent jouer un rôle important à cet égard. Une fois que l'eau s'écoule sur une route en pente, elle doit être détournée le plus rapidement possible de cette route et être collectée à côté de celle-ci : de préférence, pas sous la forme d'une zone tampon (qui ne peut généralement retenir l'eau que durant 24 heures) ni d'un fossé, mais sous la forme d'une large bande de végétation naturelle dans laquelle l'eau s'infiltrera le plus rapidement possible dans le sol. La possibilité de recueillir l'eau de cette manière n'est pas présente partout dans le paysage, loin de là. En outre, le sol et le sous-sol ne permettent pas partout à l'eau de s'infiltrer. La mise en place de cette mesure nécessite donc avant tout une étude au cas par cas.



Coupe transversale d'un accotement utilisé pour réinfiltrer les eaux pluviales de ruissellement.



Ralentissement de l'eau en reprofilant les chemins creux.

## 6.9 REPROFILAGE DES CHEMINS CREUX



Exemple de la situation actuelle des chemins creux à Beutenaken (© Komoot).

Les chemins creux non imperméabilisés représentent également une source importante d'écoulement rapide de l'eau et des sédiments. Ces chemins creux s'enfoncent de plus en plus profondément dans le paysage, ce qui accroît encore leur effet d'évacuation de l'eau. Les eaux de ruissellement y sont concentrées et il est donc difficile de les ralentir. Toutefois, en certains endroits, il est possible d'acheminer l'eau en dehors du chemin creux, en direction des forêts ou des champs, ce qui permet en quelque sorte de déconnecter ces véritables "gouttières". En outre, il est possible d'ajuster le profil des chemins creux provoquant des inondations. Au niveau de la largeur, ces chemins de terre creux ont généralement un profil adapté à celle d'un véhicule agricole (environ 3 mètres). En modifiant ce profil, là où c'est possible, pour le transformer en une voie piétonne et cycliste non asphaltée combinée à une bande de végétation destinée à collecter l'eau et située à un niveau inférieur, on peut réduire la vitesse d'écoulement. Cette dernière option en particulier doit faire l'objet d'une étude approfondie et de tests.

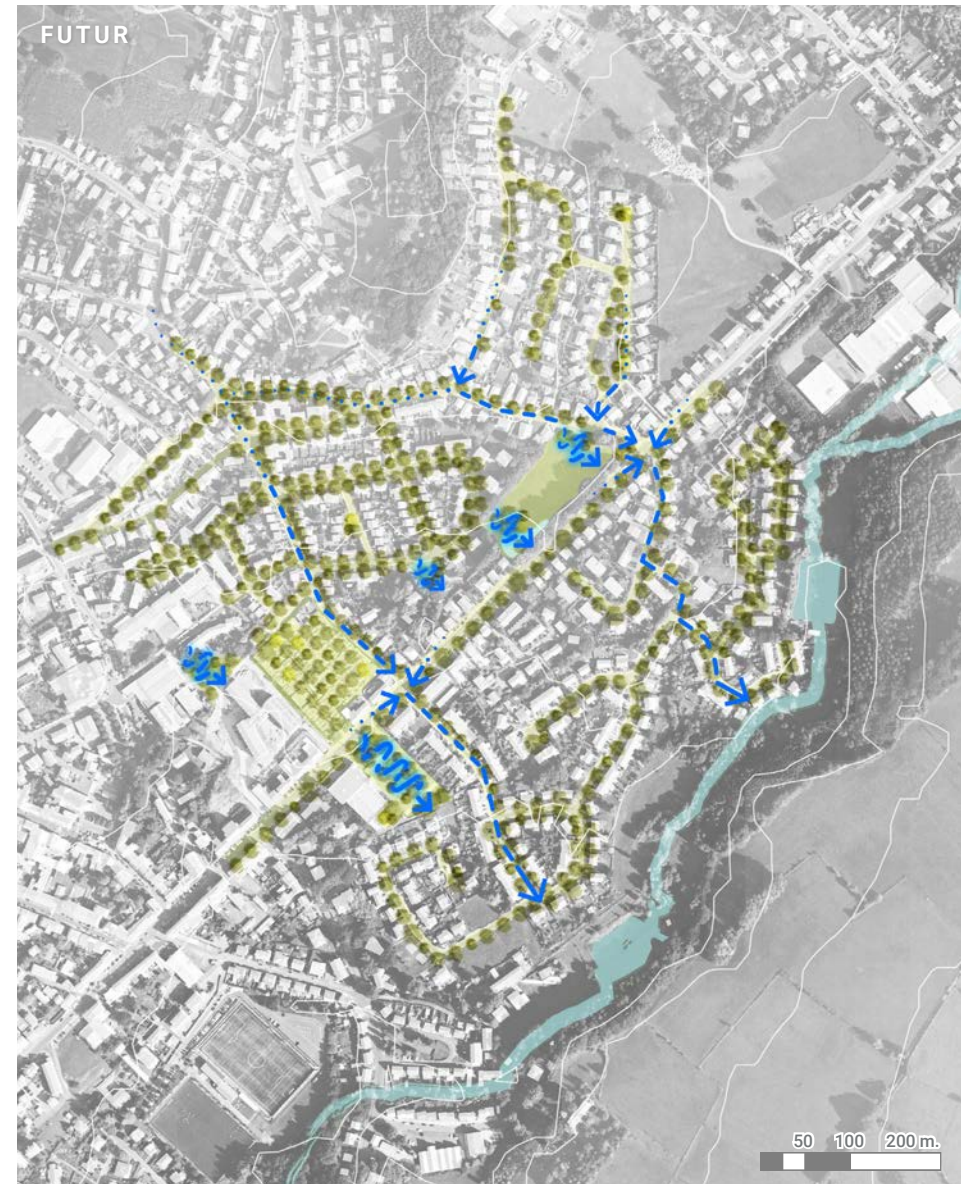
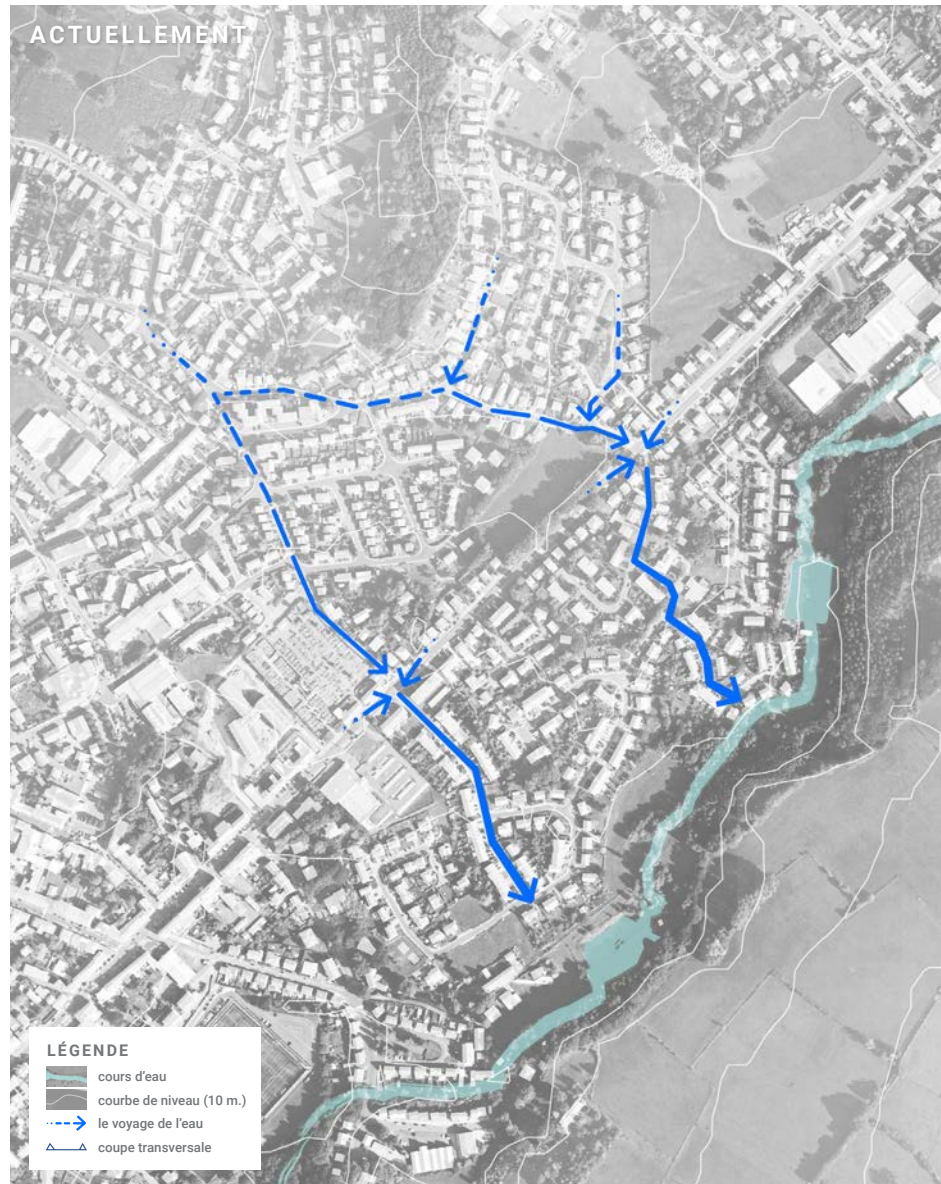


Coupes transversales du reprofilage des chemins creux

piste cyclable et  
pédestre sèche ← → retarder l'eau durant les  
pics de précipitations



Vue de dessus de la manière dont l'eau peut être déviée des chemins creux.



Ralentissement de l'eau en transformant la zone source urbaine en éponges vertes.

## 6.10 TRANSFORMER LES ZONES DE SOURCES URBAINES EN ÉPONGES VERTES

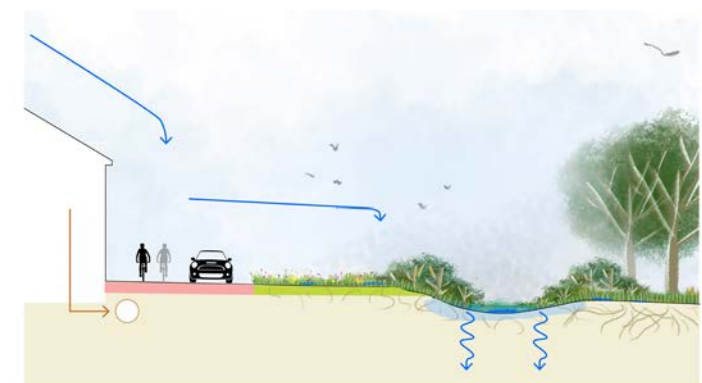
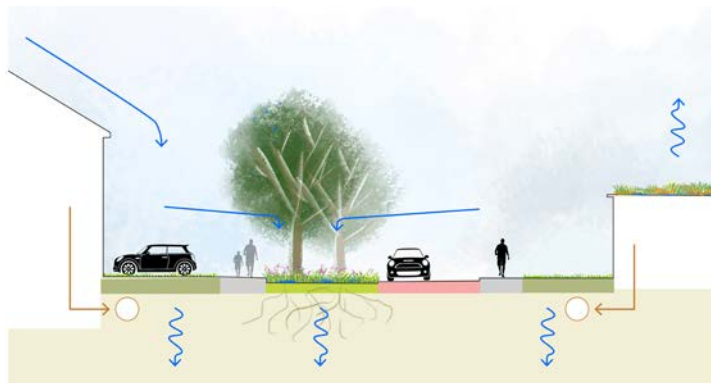
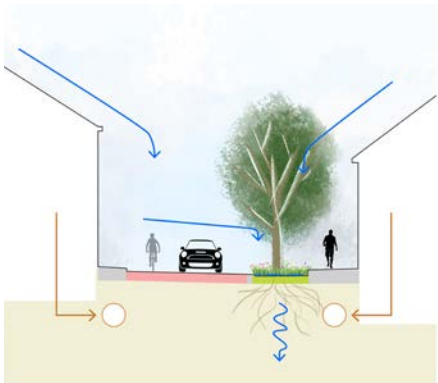


Situation actuelle de La Calamine avec un nombre remarquablement élevé de surfaces pavées (© Google Street View).

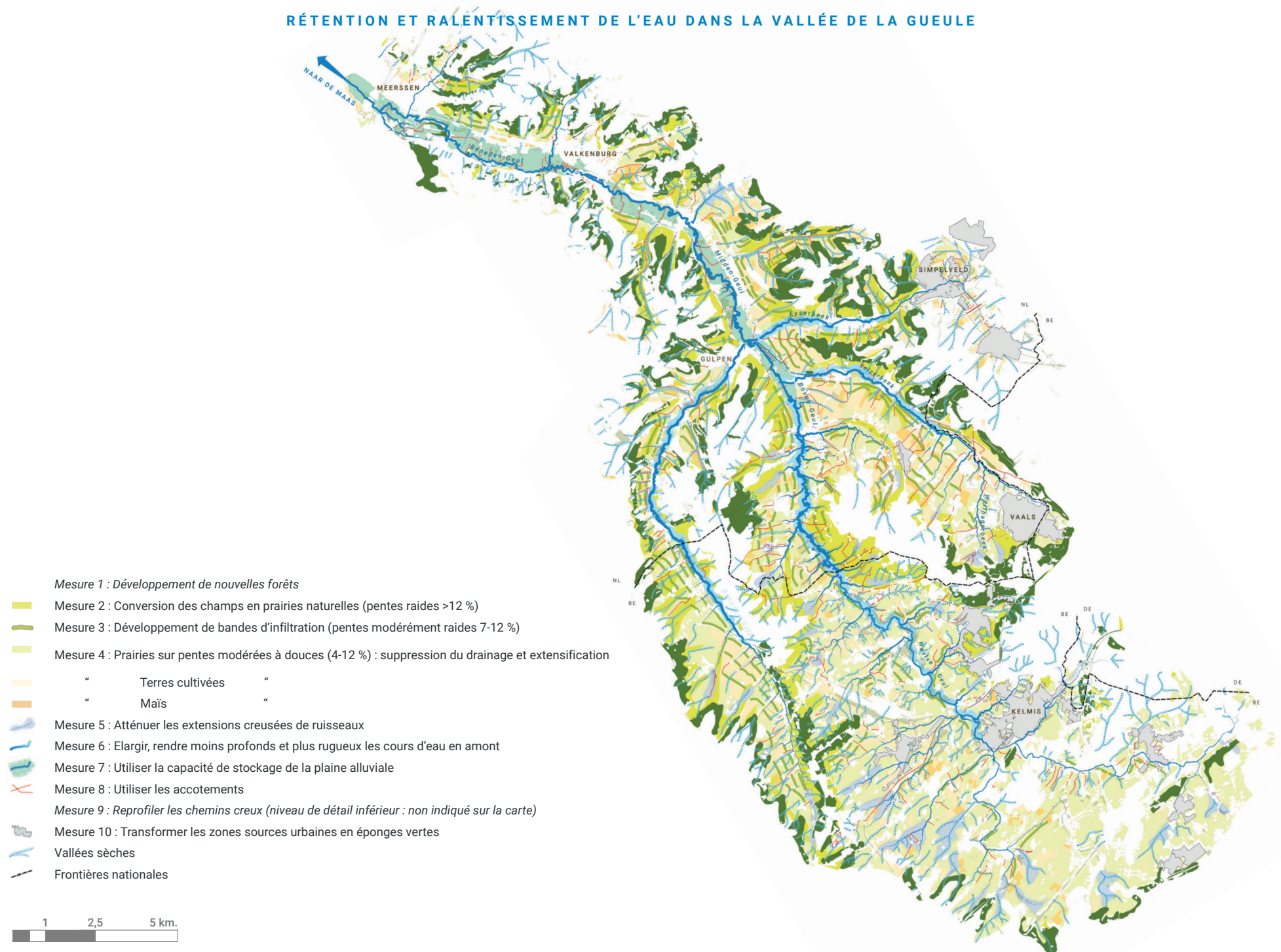


Exemple d'une zone urbaine source aménagée en éponge verte (© Bureau Stroming).

Dans la vallée de la Gueule, un certain nombre de villes et de villages présentent des surfaces en dur (rues, trottoirs et parkings) particulièrement importantes et relativement peu d'espaces verts urbains. Les pluies ne peuvent pas pénétrer dans le sol et s'écoulent dans le cours d'eau à un rythme accéléré. Cette surface imperméable des zones urbaines contribue de manière significative aux pics d'écoulement. Nous avons ici l'occasion de faire coup double : premièrement, rendre le climat en ville plus agréable en remplaçant autant que possible les surfaces pavées par des espaces verts et d'autres surfaces bien perméables ; deuxièmement, améliorer ainsi le régime hydrologique en aval de la ville. Il est également possible de collecter l'eau excédentaire directement en aval dans des zones tampons naturelles, pouvant également servir de zones d'attraction urbaines et de transition verte vers un paysage agricole parfois intensif et à grande échelle.



Coupes transversales de la zone urbaine aménagée en éponge verte.



Carte d'ensemble montrant à quoi pourrait ressembler le bassin versant de la Gueule si toutes les mesures étaient appliquées avec cohérence et intégrées au bon endroit.

# 7. UN BASSIN HYDROLOGIQUE À L'ÉPREUVE DU CLIMAT ET DE L'AVENIR

**Les mesures décrites dans le chapitre précédent peuvent être appliquées individuellement, mais peuvent également être combinées. L'efficacité des mesures (combinées) dépend fortement de l'endroit où elles sont appliquées dans le paysage. Cela est parfois évident : le remblayage des cours d'eau creusés n'est intéressant que dans la partie supérieure du bassin versant, et les bandes d'infiltration ont surtout un effet sur les pentes les plus raides.**

Afin d'indiquer pour toutes les mesures les endroits où elles contribuent le plus efficacement à un système hydrique naturel et sûr, nous avons cartographié dans ce chapitre ce à quoi ressemblerait une application combinée (hydrologique et paysagère) idéale des mesures. Ceci constitue également la base de la répercussion hydrologique des mesures, que nous expliquerons en détail au chapitre suivant.

## 7.1 Mise en application dans le paysage

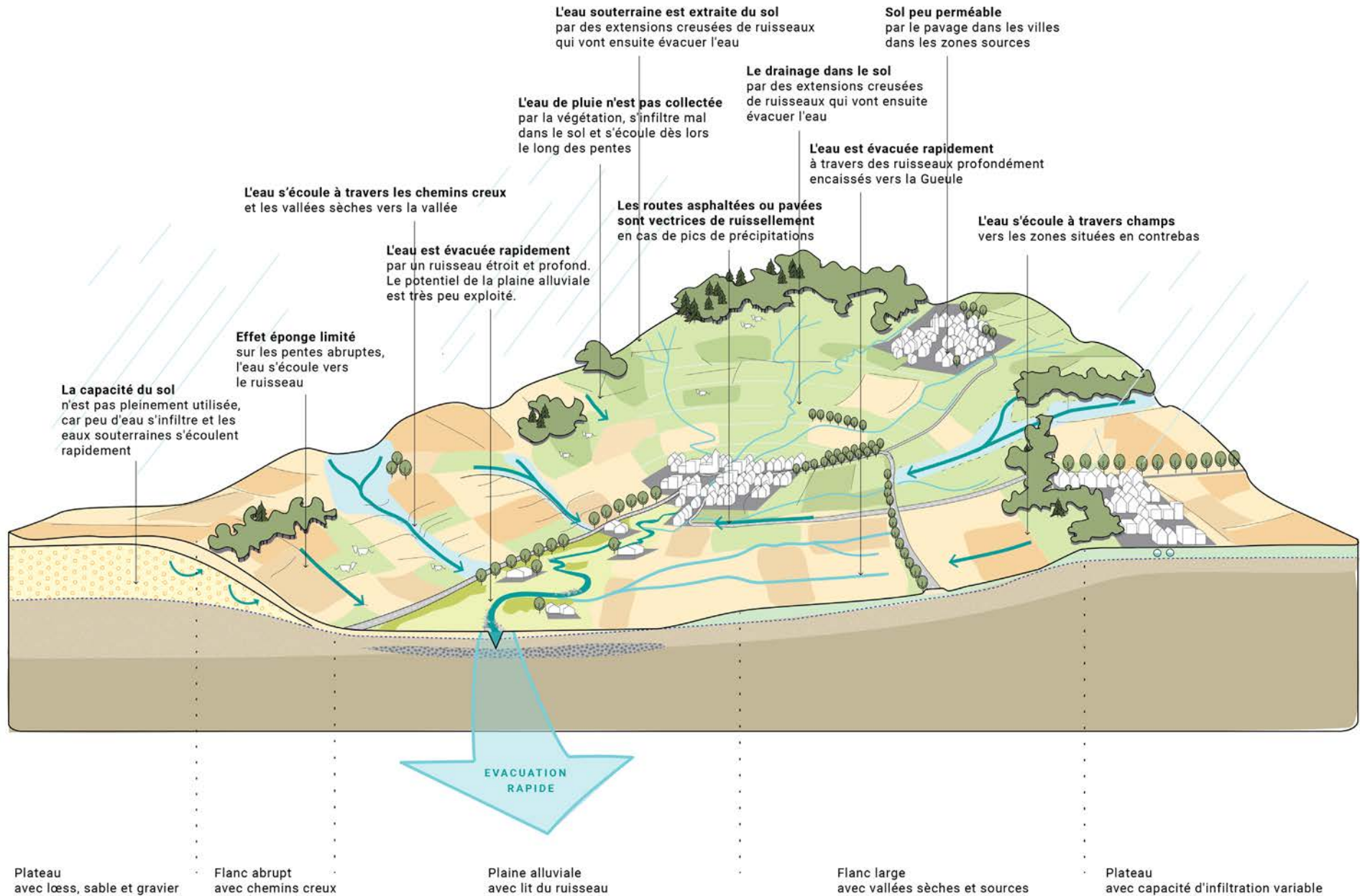
Aux chapitres 5 et 6, c.-à-d. dans la description des principes et des interventions hydrologiques, nous indiquons déjà à quelles unités de paysage (bordure de plateau, pente, vallée de ruisseau) elles se rapportent. La carte ci-jointe indique où se situent ces unités dans le bassin versant et où les mesures correspondantes peuvent être appliquées. Vous pouvez également voir la carte comme suit : à quoi ressemblera le paysage de la vallée de la Gueule si toutes les mesures décrites sont appliquées de manière cohérente. Ceci aura alors pour résultat non seulement un meilleur fonctionnement du système hydrique, mais aussi un paysage plus attrayant et plus sain à plusieurs égards. Les solutions naturelles permettent une création de valeur multiple, ce que les mesures techniques ne peuvent généralement pas offrir. Les considérations coût-bénéfice des solutions naturelles devraient donc toujours être envisagées sous cet angle.

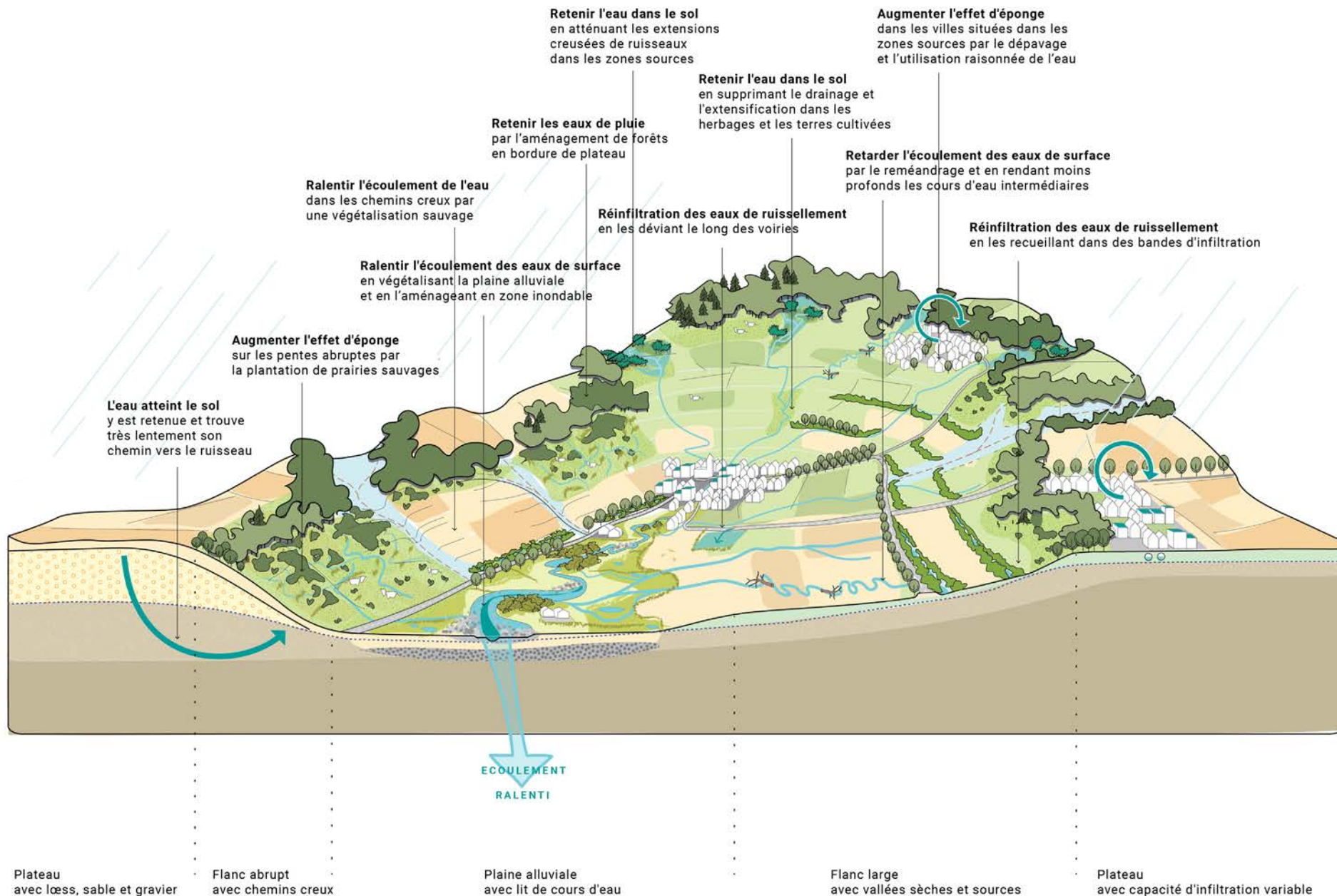
## 7.2 Contribution à d'autres fonctions et tâches

Quelles autres fonctions bénéficient également d'un meilleur fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Gueule? Le lien entre la nature et la biodiversité est évidemment rapidement établi. Surtout lorsque les mesures sont appliquées en synergie, des structures paysagères et écologiques (de forme linéaire et plane) de valeur sont créées. Celles-ci constituent des habitats et des voies de migration pour la flore et la faune.

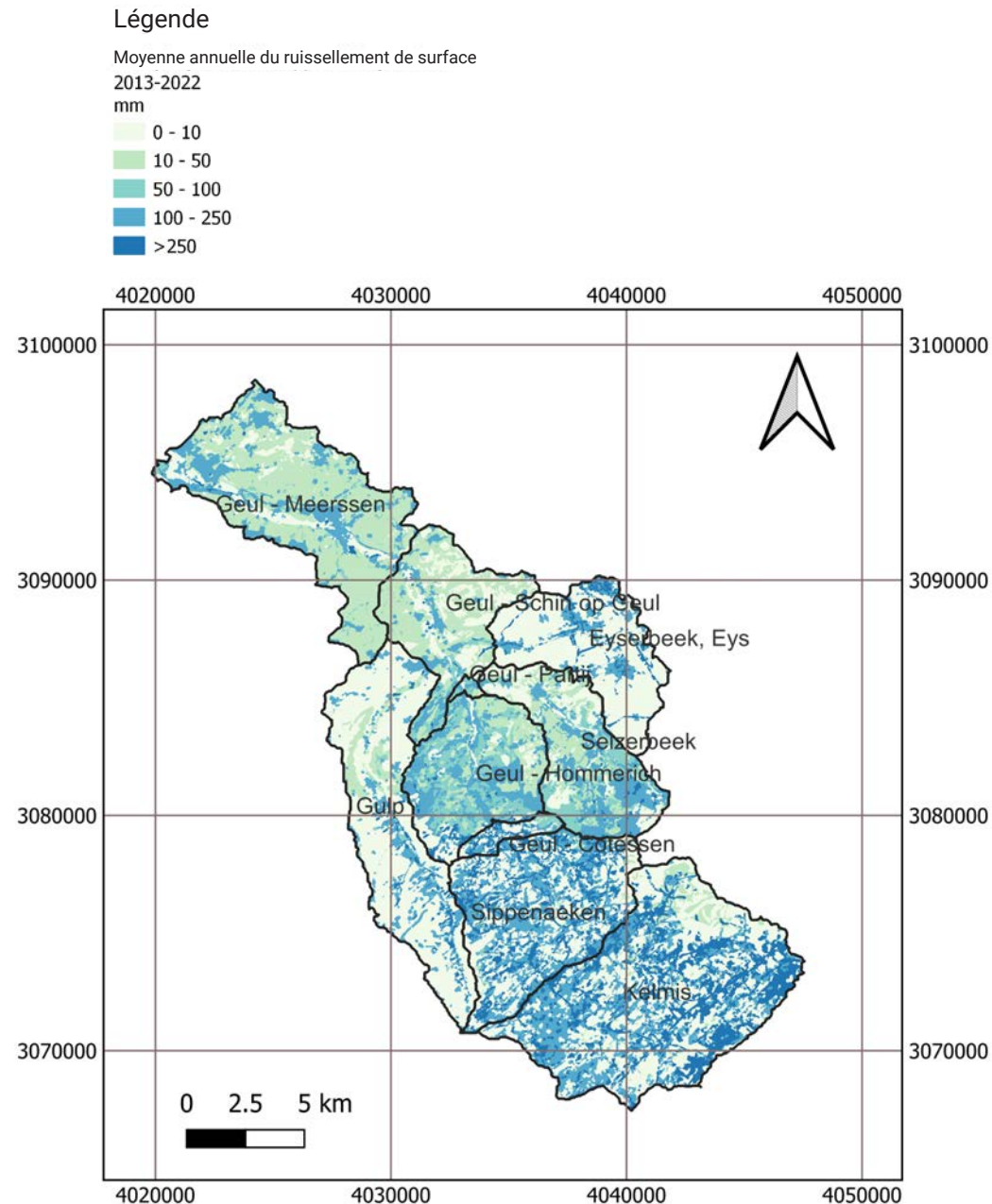
Avec l'amélioration de la valeur écologique du paysage, la valeur d'agrément, récréative et économique de ce paysage augmente également. Toutes sortes de développements écotouristiques peuvent y répondre, et ce depuis les sentiers pédestres ou cyclables jusqu'au tourisme d'un jour ou d'hébergement.

Au premier abord, de nombreuses mesures semblent être en opposition avec l'agriculture. Il est vrai qu'elles occupent des espaces qui sont encore souvent utilisés à des fins agricoles. Mais en réalité, il est vrai aussi que les agriculteurs vont devoir travailler à la réduction des émissions d'azote et à la transition agricole, passer à d'autres formes de production alimentaire et que certains cessent leur exploitation. Des développements tels que la production pour le marché local, l'agriculture régénérative et les forêts alimentaires n'en sont déjà plus à leurs premiers balbutiements et occuperont une part de plus en plus grande de notre paysage, y compris dans la vallée de la Gueule. Ces nouvelles formes d'agriculture peuvent contribuer pour une grande part à un système hydrique plus naturel et plus sûr.





Coupe représentative de la vallée de la Gueule dans la situation future, lorsque les problèmes liés à l'eau auront été résolus par l'application des mesures.



Moyenne annuelle (mm) du ruissellement de surface dans le bassin versant de la Gueule, basé sur les précipitations - processus d'écoulement liés à l'état du sol, à la pente et à l'utilisation des terres.

Ce rapport décrit où et dans quelle mesure les mesures naturelles contribuent à ralentir le parcours de l'eau et donc à réduire l'onde d'écoulement en période de crue. Les chapitres 6 et 7 expliquent en détail dix mesures de transition vers un bassin versant à l'épreuve du climat. Les mesures les plus efficaces ont ensuite été calculées à l'aide d'un modèle hydrologique. Le modèle SWAT+ s'est avéré le plus approprié à cet effet. Ce chapitre-ci décrit les résultats de cette étude de modélisation. Cette étude a pour objectif de déterminer dans quelle mesure les mesures naturelles proposées contribuent à réduire les pics de débit. Ce chapitre traite donc de l'efficacité hydrologique des mesures naturelles d'un point de vue quantitatif.

### 8.1 La structure du modèle SWAT+ dans le bassin de la Gueule

Le modèle SWAT+ est utilisé dans le monde entier pour interpréter les effets hydrologiques de certaines mesures. En définissant des combinaisons uniques de gradient, de sol et d'utilisation des sols, ce modèle permet de calculer les changements à l'échelle du bassin versant de la Gueule (d'une superficie de 339 km<sup>2</sup>). Le modèle est capable de quantifier les effets des mesures tant pour l'ensemble d'un bassin versant que pour de petits sous-bassins. A partir de ce modèle, on peut effectuer des analyses spatiales des processus de ruissellement, telles que le calcul du ruissellement superficiel moyen annuel (mm).

SWAT+ travaille avec ce que l'on appelle des HRU (Hydrologic Response Units), qui rassemblent des combinaisons uniques de classe de pente, de type de sol et d'utilisation des terres. Le bassin de la

# 8. RÉSULTATS DES MODÈLES DE CALCUL

Gueule est ainsi divisé en une mosaïque de plus de 39 000 HRU. Les effets des mesures naturelles sont déterminés en adaptant les caractéristiques uniques des HRU sélectionnées, en calculant les effets sur l'écoulement et en les comparant ensuite à la situation actuelle.

Dans le modèle SWAT+, le réseau hydrographique est divisé en 168 sous-bassins versants. Le nombre et la taille de ces zones ont été optimisés de manière à pouvoir calculer correctement les effets des mesures à petite échelle dans les cours d'eau en amont avec un temps de calcul limité.

Afin de configurer correctement le modèle (également appelé étalonnage), on a utilisé des données de mesure provenant de sept points de mesure dans le bassin versant de la Gueule. L'alignement des calculs du modèle et des données de mesure connues a permis d'affiner le modèle. Les points de mesure en question étaient dispersés dans le bassin versant : La Calamine, Sippenaeken, la Gulp, le Selzerbeek, l'Eyserbeek, Schin op Gueul et Meerssen.

Les effets des mesures sont ensuite analysés dans cinq sous-bassins versants (La Calamine, Sippenaeken, la Gulp, le Selzerbeek et l'Eyserbeek) et en aval à Schin op Gueul et Meerssen, qui coïncident avec les endroits où les données de débit sont connues.

Comme tout modèle, le modèle SWAT+ représente de manière simplifiée les processus réels qui se produisent pendant les précipitations et le ruissellement. L'une des limites de ce modèle est que chaque

HRU unique s'écoule dans un cours d'eau. Or en réalité, le ruissellement de surface se produit également entre les zones en amont et en aval sans qu'il n'aboutisse dans un cours d'eau ou qu'il ne se réinfilte dans le sol. Ceci rend moins précis le calcul des mesures impliquant la suppression de cours d'eau, telle que la coupure des extensions de cours d'eau creusés.

De même, le modèle comporte également une séparation entre les processus sur les pentes menant au ruissellement et ceux dans les cours d'eau. Dans le modèle, ces processus sont unidirectionnels : l'eau de la plaine alluviale s'écoule dans le cours d'eau ; or en cas de crue, la rivière ne sort pas de son lit pour aboutir dans la plaine. Dans le modèle, il existe deux ajustements pour ce scénario. Premièrement, la rugosité de la plaine alluviale a été augmentée, de sorte que moins d'eau s'écoule (directement) vers la rivière et que plus d'eau s'infiltre. Deuxièmement, la rugosité du cours d'eau lui-même est augmentée en fonction de la présence d'éléments retardateurs dans le cours d'eau. Par conséquent, les pics sont retardés et (quelque peu) étalés.

## 8.2 Mesures naturelles modélisées

Le modèle construit pour l'ensemble du bassin de la Gueule a permis de calculer les mesures naturelles les plus prometteuses décrites dans les sous-bassins versants. Dans ce cadre, nous sommes toujours partis de mesures adaptées à la nature d'un sous-bassin versant. Ce faisant, toutes les mesures n'ont pas été appliquées partout, mais plutôt de manière sélective. Le tableau ci-dessous indique dans quel sous-bassin versant les mesures naturelles ont été modélisées.



## Légende

Bassin hydrographique de la Gueule

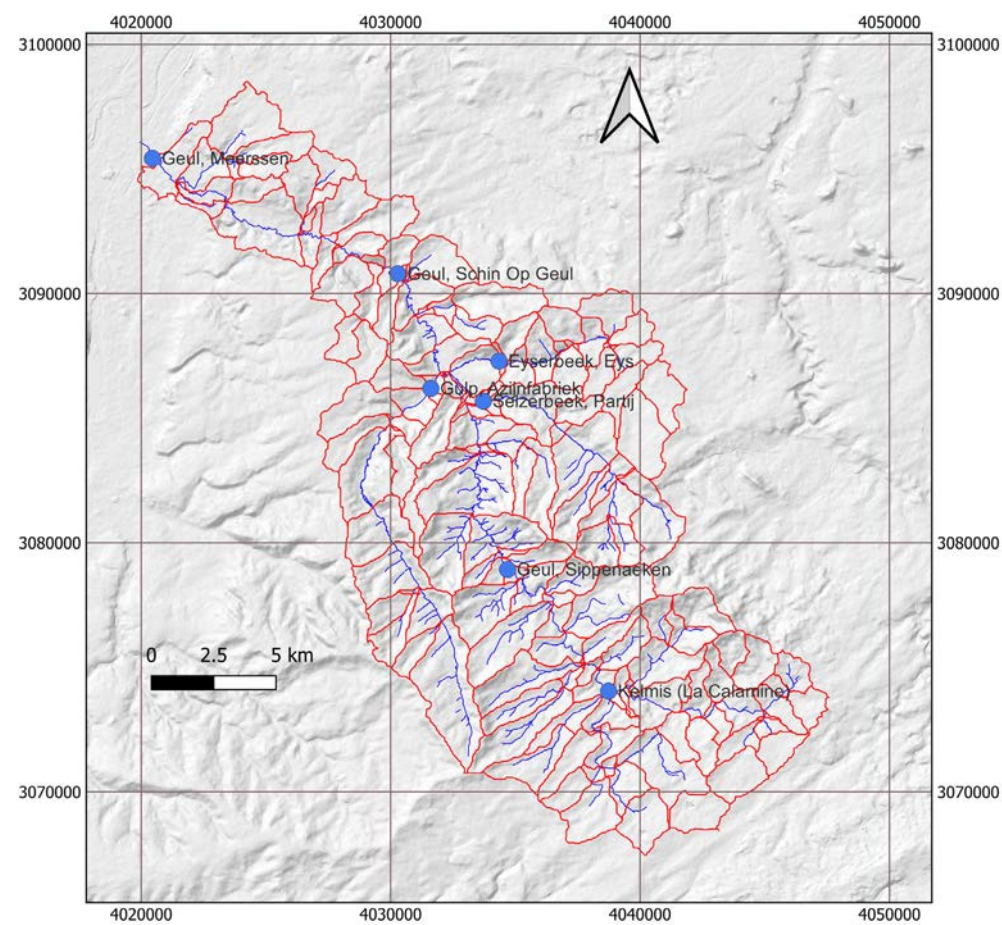
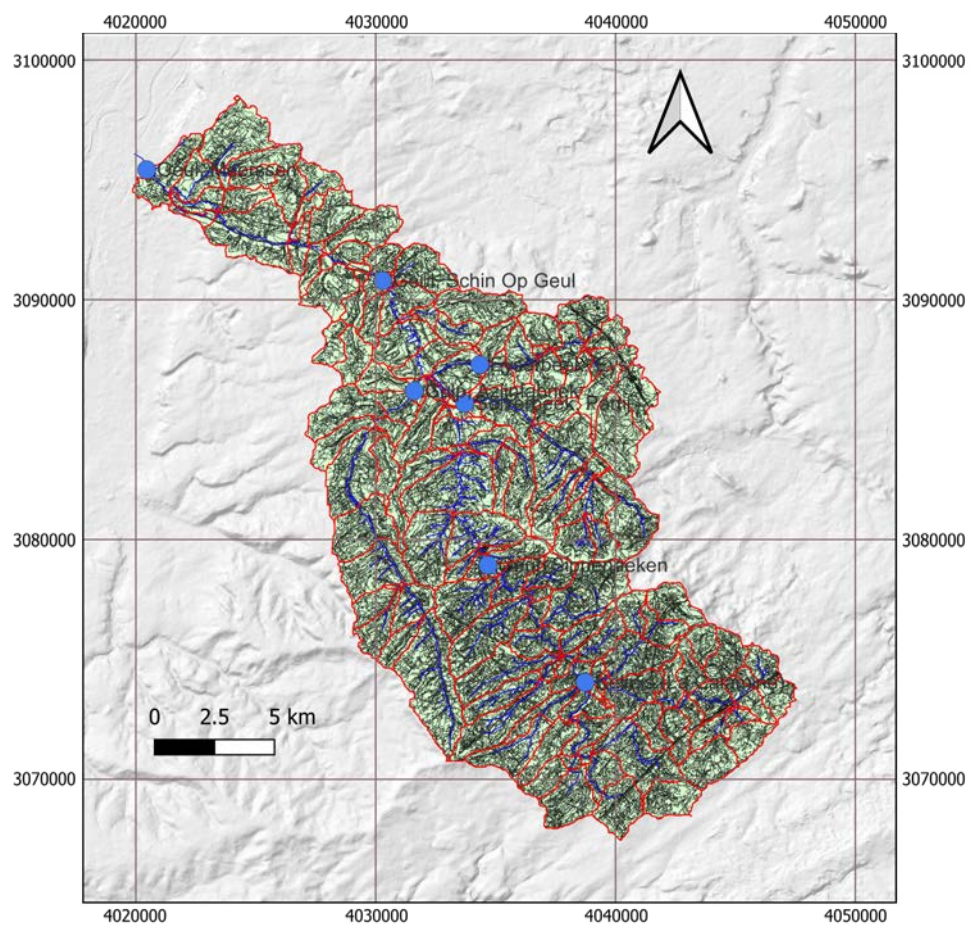
— Cours d'eau

Sous-bassins

□ Sous-bassin

● Points de mesure de l'écoulement

■ Unités de réponse hydrologique (HRU)



Pour les besoins de la modélisation, le bassin de la Gueule a été divisé en 168 sous-bassins versants et plus de 39.000 unités de réponse hydrologique (HRU).

Les 168 sous-bassins versants contiennent les points de mesure où les données de débit sont connues. Ces points de mesure forment la limite aval des cinq sous-bassins versants où les effets des mesures naturelles ont été modélisés.

Pour chaque mesure, les effets sur les pics de débits ont été analysés tant sur une longue échelle de temps que pour le phénomène de précipitations de juillet 2021. Il convient toutefois de faire remarquer que l'étalonnage a démontré que le modèle ne parvient pas à estimer correctement les pics de débit extrêmes, étant donné que ceux-ci se produisent évidemment de manière très sporadique.

### 8.3 Résultats

Le modèle calcule pour quasi toutes les mesures un effet positif significatif sur les caractéristiques du ruissellement. Les eaux pluviales sont retenues plus longtemps et s'écoulent plus lentement, ce qui réduit le pic d'écoulement. Cet effet est plus important à l'endroit où la mesure est appliquée et devient plus faible en aval en raison des apports d'eau provenant de parties du bassin versant où la mesure n'est pas appliquée. Par conséquent, l'effet d'un type de mesure appliqué dans l'un des cinq sous-bassins versants ne se reflète finalement que très peu dans les caractéristiques du débit à l'extrémité du bassin versant, près de Meerssen.

Les principaux résultats pour chaque mesure naturelle sont présentés ci-dessous. Ces résultats sont examinés plus en détail dans la discussion qui suit.

#### Développement de forêts de pente sur les champs

Dans le bassin versant de la Gueule, 3,2 % de la superficie est classée comme terre cultivable sur des pentes de déclivité supérieure à 10 %. Les différences par sous-bassin sont donc importantes : entre 10 et 15 % de la superficie dans l'Eyserbeek, le Selzerbeek et la Gulp et moins de 5 % à La Calamine et Sippenaeken.

Pour la Gulp et le Selzerbeek, la conversion de champs de pente raide en forêts de pente entraîne des réductions de 2 à 4 % des débits

Mesure naturelle	Sous-bassin versant				
	La Calamine	Sippenaeken	Gulp	Selzerbeek	Eyserbeek
Développement de forêts de pente sur des terres arables (6.1a)	X	X	X	X	X
Développement des prairies naturelles sur les champs de maïs (6.2a)	X	X	X	X	X
Développement de forêts de pente sur des prairies de production (6.1 b)	X	X	X	X	X
Développement des prairies naturelles sur les prairies de production (6.2 b)	X	X	X	X	X
Aménagement de bandes d'infiltration sur les champs (6.3)				X	
Atténuation des extensions de cours d'eau excavées (restauration des zones humides en amont (6.5)	X	X	X		
Elargir, rendre moins profonds et plus sauvages les cours d'eau en amont et la plaine alluviale (6.6)	X	X	X		
Réacheminer l'eau des voies pavées (6.8)	X	X			X
Transformer les zones urbaines en éponges vertes (6.10)	X	X	X	X	X

Les neuf différentes solutions naturelles telles qu'elles ont été implémentées par simulation dans le modèle de calcul et répercutées sur les effets sur le ruissellement.

journaliers les plus élevés. Tant dans les sous-bassins qu'à Meerssen, le pic de débit de juillet 2021 a été réduit de 0,4 % maximum.

#### Développement de prairies naturelles ou des forêts de pente sur les champs de maïs

La superficie des champs de maïs représente 4,3 % de la superficie totale du bassin versant, les superficies du Selzerbeek, de l'Eyserbeek et de la Gulp étant d'environ 5 % et les superficies des sous-bassins versants de La Calamine et de Sippenaeken avoisinant 1,5 %.

Un effet limité a été modélisé lors de la conversion des champs de maïs en prairies naturelles sur les pics de débit dans les sous-bassins versants et les pics de débit en aval. Cette mesure entraîne une réduction de 0,2 à 0,6 % pour le débit de pointe de juillet 2021 à Meerssen. Dans les sous-bassins versants, les effets sont similaires en termes d'ampleur, la mesure prise dans la Gulp ayant l'effet le plus important, avec une réduction des débits de pointe comprise entre 1 et 4 %.

#### Développement de forêts de pente sur des prairies de production

Les prairies de production constituent l'utilisation dominante des terres dans tous les sous-bassins versants, avec un taux de couverture moyen de 44 %. La conversion des prairies de production en forêts naturelles entraîne une forte réduction du ruissellement. Pour la fourchette de

90 à 98 percentiles des écoulements quotidiens à Schin op Gueul et Meerssen, des réductions d'environ 30 % ont été obtenues sur l'ensemble de la période 2002–2023. La conversion des prairies de production en forêts naturelles a un effet manifeste sur la réduction du pic de débit en juillet 2021 dans les sous-bassins versants et dans la Gueule près de Meerssen. Pour Schin op Gueul et Meerssen, les réductions sont passées de 59 m<sup>3</sup>/s et 68 m<sup>3</sup>/s dans le scénario de référence à 39 m<sup>3</sup>/s et 43 m<sup>3</sup>/s après conversion en prairies naturelles. Ceci correspond à des réductions significatives de 34 % et 37 % du débit le plus extrême à Schin op Gueul et Meerssen..

### Développement des prairies naturelles sur les prairies de production

La conversion des prairies de production en prairies naturelles entraîne également une réduction significative des débits journaliers et des débits de pointe. Sur la plage des débits journaliers du 90e au 98e centile à Schin op Gueul et à Meerssen, des réductions de l'ordre de 29 à 36 % sont obtenues sur l'ensemble de la période 2002–2023 après la conversion en prairies naturelles. Des réductions similaires ont été obtenues pour Schin op Gueul et Meerssen lors du pic de débit extrême du 15 juillet 2021, de 59 m<sup>3</sup>/s et 68 m<sup>3</sup>/s respectivement dans le scénario de référence, à 42 m<sup>3</sup>/s et 45 m<sup>3</sup>/s dans le scénario après conversion en prairies naturelles. Cela correspond à des réductions de 29 % et 34 % du débit le plus extrême à Schin op Gueul et Meerssen.

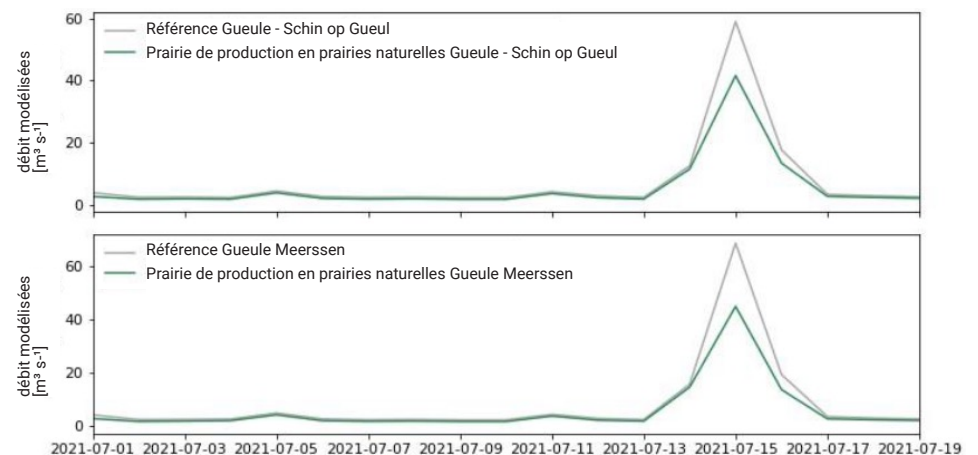
La conversion des prairies de production en prairies naturelles entraîne clairement une réduction du débit de pointe en juillet 2021 dans les sous-bassins versants, à l'exception de la Gulp et de l'Eyserbeek. Pour l'Eyserbeek, ceci s'explique par le fait que la superficie des prairies y est limitée, tandis que pour la Gulp, où il y a au contraire beaucoup de prairies, cette faible réduction est difficilement explicable.

### Aménagement de bandes d'infiltration sur les champs

Suite à la mise en place de bandes d'infiltration le long du Selzerbeek, le pic de débit de juillet 2021 diminue légèrement de 9,8 m<sup>3</sup>/s à 9,3 m<sup>3</sup>/s. Les effets de cette mesure sont sous-estimés en raison du fait que l'infiltration du ruissellement superficiel provenant de zones plus élevées dans les fossés ne peut être quantifiée sans une étude plus détaillée du degré de ruissellement provenant des UHR/HRU en amont.

### Atténuation des extensions creusées des cours d'eau (restauration des zones humides en amont)

Dans SWAT+, les cours d'eau existants ne peuvent pas être supprimés, ce qui constitue le cœur même de cette mesure. Pour pouvoir modéliser l'effet de l'atténuation des extensions de cours d'eau, la largeur du cours d'eau a été augmentée, sa profondeur a été réduite et il est devenu plus rugueux grâce à la végétation. Dans cette étude de modélisation, cette modification entraîne une augmentation des débits de pointe pour les petits cours d'eau dans les plus petits



Différences de débit modélisées (m<sup>3</sup>/s) en cas de conversion de prairies de production en prairies naturelles lors de l'épisode de précipitations de juillet 2021.

ruisseaux en amont. La mesure n'a que peu d'effet sur les débits de pointe les plus élevés dans les sous-bassins versants. Les résultats ne sont pas en adéquation avec les recherches antérieures et les observations sur le terrain, où une diminution marquée des débits de pointe a été observée. Sur une plaine alluviale à un peu plus grande échelle, une étude menée en Allemagne a conclu que la restauration des zones humides en amont permettait de réduire les risques d'inondation et d'augmenter le débit de base.

### **Elargir, rendre moins profonds et plus sauvages les cours d'eau en amont et de la plaine alluviale**

La transformation de la plaine alluviale existante en amont en une plaine au caractère plus naturel permet de retarder la vitesse d'écoulement dans le ruisseau et d'augmenter le stockage de l'eau. Dans cette étude, on a simulé l'aménagement de plaines naturelles dans les cours d'eau les plus importants des sous-bassins versants de la Gulp, de La Calamine et de Sippenaeken.

Les plaines naturelles des vallées entraînent une légère diminution des débits journaliers mensuels dans tous les bassins versants. Grâce à cette mesure, l'écoulement lors des débits les plus élevés diminue de 2 à 5 % dans le Selzerbeek, de 1 à 4 % dans l'Eyserbeek et d'environ 1 % dans la Gulp. Les mesures n'ont pas d'effet significatif sur les débits de pointe en aval (moins de 1 % de réduction) lors des crues de juillet 2021.

### **Réorienter l'eau des routes imperméabilisées**

L'augmentation de l'infiltration des précipitations sur les routes a un faible effet (< 1 %) tant sur les débits journaliers à plus long terme que sur les débits de pointe de juillet 2021 dans les sous-bassins versants. Les principales raisons en sont la faible superficie des voiries dans les bassins versants (<1 %) et les limites du modèle pour donner aux voiries les propriétés d'extension de cours d'eau durant

les pics de précipitations. Ceci ne tient pas compte du fait que, lors de précipitations prolongées, des flux d'eau de surface et souterrains provenant d'ailleurs aboutissent également sur les routes.

### **Transformer les zones urbaines en éponges vertes**

Le "verdissement" des zones urbaines entraîne une diminution des débits de pointe journaliers dans tous les sous-bassins, les diminutions les plus fortes étant observées dans les bassins versants de l'Eyserbeek ( $18 \pm 4$  %), du Selzerbeek ( $10 \pm 7$  %) et dans la partie située le plus en amont de la vallée wallonne de la Gueule comprenant également La Calamine ( $6 \pm 5$  %). Ces réductions semblent avoir un caractère saisonnier, les valeurs les plus élevées étant observées pendant la période estivale.

Selon le modèle, la végétalisation des zones urbaines a, en cas de crue comme celle de juillet 2021, un effet particulier sur le débit de pointe de l'Eyserbeek. Celui-ci diminue de 39 %, passant de 2,6 m<sup>3</sup>/s à 1,6 m<sup>3</sup>/s (débit journalier moyen). Pour les autres zones, la réduction de ce débit de pointe s'élevait à 7 % maximum.

## **8.4 Discussion**

La construction du modèle SWAT+ pour la vallée de la Gueule permet de modéliser en détail les processus de précipitations et d'écoulement dans l'ensemble du bassin versant. La structure qui a été mise en place est unique par son niveau de détail et repose sur des bases solides, mais nécessite une conception encore plus poussée. Un des inconvénients de ce mode de modélisation est la complexité et la taille du modèle et les temps de calcul assez longs qui s'ensuivent.

Il ressort des résultats qu'il est très difficile de modéliser correctement une multitude de mesures naturelles à relativement petite échelle qui agissent sur différents processus hydrologiques, et ce pour l'ensemble d'un bassin versant. Néanmoins, il est possible d'en

tirer des enseignements pour mieux se rapprocher de la réalité avec des ajustements limités du modèle. L'étude actuelle s'est penchée sur les différences entre les débits des sous-bassins avant et après l'application des interventions. En examinant de plus près les processus de ruissellement des précipitations à plus petite échelle, il est possible de mieux étudier les mesures à petite échelle. C'est le cas, par exemple, des mesures de restauration des zones humides en amont, de l'interception de l'eau des routes, de l'aménagement de bandes d'infiltration et de plaines naturelles. La contribution de ces mesures à la réduction des débits de pointe est sous-estimée dans le calcul du modèle actuel.

Les résultats de ces calculs font apparaître certains éléments :

1. Notamment en ce qui concerne les interventions appliquées à petite échelle, les résultats sont limités, tandis que lorsque ces mesures sont appliquées à grande échelle, les effets sont significatifs. Par exemple, le modèle n'est pas en mesure de conférer aux routes les propriétés d'extension de cours d'eau pendant les pics de précipitations. Ainsi, on ne tient pas compte du fait que les routes collectent également des flux d'eau superficiels et souterrains provenant d'ailleurs lors de précipitations prolongées. De même, les processus hydrologiques liés à la restauration des zones humides en amont, à la végétalisation des villes et à la gestion des plaines naturelles des vallées ne correspondent pas encore à la réalité.

Le modèle SWAT+ n'est pas (encore) tout à fait à même d'évaluer ces mesures, mais certaines possibilités d'amélioration peuvent être explorées.

2. Pour le calcul, on a travaillé sur base de valeurs journalières, ce qui a pour conséquence que les moments de ruissellement superficiel ne sont pas calculés avec précision. En effet, le fait que 30 mm

de pluie tombent en 1 ou 2 heures ou qu'ils s'étalent sur toute la journée représente une grande différence pour l'écoulement superficiel. Dans ce dernier cas, il n'y a pratiquement pas d'écoulement superficiel, alors que dans le premier cas, c'est le contraire. Ce qui est frappant dans les résultats, c'est que les mesures visant à intercepter le ruissellement de surface, comme la restauration des zones humides, la végétalisation des villes et le captage des eaux de ruissellement des routes, sont moins efficaces que les mesures qui affectent les flux d'eau plus lents provenant du bassin versant. Les mesures qui ont une incidence sur les écoulements plus lents, telles que les changements d'affectation des sols, ressortent bien du modèle. Nous pensons qu'en travaillant avec des valeurs horaires, le modèle démontrera que toutes les mesures ralentiront davantage l'écoulement de l'eau pendant les pics de précipitations.

3. Les mesures visant à augmenter le niveau des eaux souterraines, telles que la transformation des vallées en amont en marais, entraînent une augmentation limitée du ruissellement. Vu que le volume poreux n'est plus disponible pour les eaux pluviales, l'eau de la vallée s'écoule plus tôt, ce qui entraîne un ruissellement plus important. Ceci est le résultat d'une incapacité à incorporer correctement les caractéristiques modifiées du fond de vallée dans le modèle. SWAT+ part toujours du principe qu'il y a un cours d'eau dans la vallée, même s'il n'y en a pas. Il est probable que l'on n'a pas encore réussi à adapter le lit pour qu'il ressemble à un marais traversant. Lors d'une analyse similaire dans la Kyll (Eifel), il y a quelques années, cela a réussi et a entraîné une réduction locale d'environ 30 % du débit de pointe. La surveillance sur le terrain dans le Hunsrück-Hochwald montre également une réduction du débit de pointe et une augmentation du débit de base après la formation des marais. Afin de mieux pouvoir déterminer si ce phénomène pourrait également s'appliquer à la Gueule, il conviendrait d'élaborer des modèles de sous-bassins versants à plus petite

échelle, afin que le long temps de calcul du modèle à grande échelle actuel ne constitue plus une limite. De même, il faudrait examiner les variations spatiales et temporelles dans le bassin versant en relation avec le débit du bassin versant.

4. Dans les entrées des données relatives aux précipitations, les épisodes de fortes précipitations (les extrêmes) sont très rares, alors que l'on s'attend précisément à ce que les effets des mesures naturelles soient les plus importants au cours de ces épisodes. En outre, le modèle peine à déterminer l'ampleur du pic de débit les jours où le débit est élevé. Il est possible que cela ait également conduit à une sous-estimation des effets des mesures affectant le ruissellement de surface ou qui ne couvrent qu'une petite superficie.

### 8.5 Recommandations

1. Il est recommandé d'étudier de manière plus approfondie les mesures couvrant une petite superficie dans le modèle SWAT+ actuel élaboré pour la Gueule. Ceci peut se faire en isolant des sous-zones, telles que La Calamine ou la Gulp, en tant que modèles distincts avec des temps de calcul plus courts et une calibration plus détaillée. Cela permettrait de jeter un regard critique sur la manière dont les processus hydrologiques de ces types de mesures sont intégrés dans le modèle actuel. En outre, l'effet des mesures naturelles pourrait être modélisé à une plus petite échelle (celle d'une unité hydrologique ou d'un sous-bassin). L'efficacité potentielle des mesures à petite échelle pourrait ainsi être mieux étayée.
2. Il est recommandé de faire en sorte que, dans SWAT+, les mesures affectant les niveaux des eaux souterraines (telles que la restauration des sols humides) et les mesures où il y a une interaction entre le cours d'eau et le sol (telles que la plaine alluviale naturelle) reflètent mieux à la situation réelle. Là encore, cela peut se faire en

modélisant d'abord à petite échelle avec un temps de calcul court, ce qui permettrait aux processus hydrologiques de mieux correspondre à la réalité, puis d'en augmenter l'échelle.

3. Il est recommandé de modéliser une courte période de temps avec des valeurs horaires pour les précipitations et le ruissellement. Ceci permettrait de mieux faire ressortir l'intensité des précipitations et les flux d'eau rapides (ruissellement de surface) du modèle. Ainsi, les mesures à petite échelle influençant le ruissellement rapide donneraient de meilleurs résultats.
4. Enfin, et notamment pour les mesures naturelles, il est recommandé de mettre sur pied des expériences sur le terrain et d'effectuer des mesures précises afin de corroborer les résultats du modèle avec les mesures sur le terrain. Il peut également être utile de déterminer si de telles mesures hydrologiques ont été effectuées dans les bassins versants voisins dans les Ardennes et dans l'Eifel. En Allemagne notamment, de nombreuses mesures sont effectuées dans le cadre des modifications de l'utilisation des sols ou du système hydrique.

Une telle étude de modélisation peut être considérée comme un point de départ afin d'évaluer la valeur (hydrologique) des mesures naturelles dans le Heuvelland. Les résultats de la modélisation donnent un aperçu de l'efficacité de certaines mesures lorsqu'elles sont appliquées à une partie du bassin versant. Ce rapport fournit donc des éléments de base pour la planification et la mise en œuvre. Sur la base des résultats, des stratégies peuvent être développées en vue de la mise en application de solutions naturelles, avec un bon équilibre entre les coûts et les bénéfices. En outre, pour la mise en œuvre d'une mesure à un endroit donné, il permet de donner une première estimation de l'effet de cette mesure sur la gestion de l'eau.



Une vallée naturelle de la Gueule : des prairies rugueuses qui retiennent l'eau et la transmettent lentement au réseau hydrographique (© Bob Luijks).

L'étude réalisée par Bureau Stroming, H+N+S Landscape Architects et Acacia Water indique qu'un paysage plus naturel rendra la vallée de la Gueule plus sûre. Elle montre également quelles mesures naturelles peuvent être prises pour réduire le risque d'inondation de la Gueule et de la Gulp. Les mesures présentées tiennent compte de la qualité de la vallée de la Gueule, qui constitue un paysage unique doté d'une géomorphologie particulière et d'une nature de haute valeur. C'est pourquoi cette étude est si inspirante et motivante.

Dans cette étude, le voyage de la goutte d'eau suivie de près sur son chemin vers la Gueule est particulièrement éclairant. Ce parcours présente des points de départ pour des mesures visant à ralentir et à retenir l'eau avec l'aide de la nature. Dans ce contexte, le terme "nature" désigne non seulement un paysage naturel, mais également les processus naturels et l'utilisation de la capacité de rétention d'eau de la végétation, d'un sol fonctionnant de manière naturelle ou du sous-sol géologique. Tous ces éléments jouent un rôle dans le ralentissement du trajet de l'eau.

Ce que le rapport montre également de manière très nette, c'est que le système hydrique naturel d'origine disposait déjà de tout ce qu'il fallait pour stocker l'eau, l'évacuer lentement et la drainer progressivement, en amortissant les pics de précipitations et les périodes sèches intermédiaires. Nous, les humains, avons passé des siècles à transformer ce système à l'aide de techniques visant à accélérer

# 9. VERS UNE VALLÉE DE LA GUEULE NATURELLE FORTE

l'écoulement de l'eau. De nombreuses interventions anciennes et artificielles sont aujourd'hui à peine reconnues comme telles. L'exemple le plus parlant est celui des soi-disant petits ruisseaux dans collines, qui ne sont en fait pas des ruisseaux, mais des fossés de drainage qui se sont progressivement mis à serpenter. De jolis petits ruisseaux, mais qui ne permettent pas de retenir l'eau en amont.

La valeur de l'étude d'Acacia Water réside surtout dans le fait que, pour la première fois, un modèle transfrontalier détaillé a été élaboré pour l'ensemble du bassin hydrologique de la Gueule. Les différences locales en matière de sol, de roche, de relief, d'infrastructure, d'utilisation des sols et de type de végétation ont été intégrées dans ce modèle. Un tel modèle transfrontalier est d'une grande importance, car notamment lors de la crue de 2021, la majeure partie de l'eau provenait de Belgique. Le modèle développé peut être d'une aide précieuse pour calculer l'efficacité des mesures à prendre. La planification peut se baser sur ce modèle. Les premiers calculs (chronophages) ayant maintenant été effectués, l'on s'attend à ce qu'il permette beaucoup plus de calculs à l'avenir. Ce modèle requiert cependant encore quelques ajustements. En outre, les calculs devront être effectués en utilisant les valeurs horaires des précipitations au lieu des valeurs journalières, et ce afin de s'approcher au plus près de l'effet des fortes pluies sur le ruissellement rapide. Par ailleurs, concernant les mesures naturelles il est également souhaitable de mettre en place des essais sur le terrain et d'effectuer des mesures précises afin

d'étayer les résultats du modèle avec les mesures sur le terrain. Il est donc nécessaire de poursuivre le développement de cette étude de modélisation avec des partenaires.

## 9.1 Que nous reste-t-il à faire ?

En tant qu'union d'associations de protection de la nature, sous la dénomination de NATUURKRACHT, nous voulons travailler, en collaboration avec les propriétaires fonciers, les habitants, les entreprises, les communes, les gestionnaires de l'eau et les concepteurs, en vue de continuer à cartographier, à développer et surtout à réaliser les opportunités et les "possibilités de couplage" des mesures naturelles. Bien entendu, nous utiliserons également nos propres propriétés dans la vallée de la Gueule afin de rendre possibles ces mesures naturelles. En fin de compte, nous voulons, en tant que coalition NATUURKRACHT, avant tout initier un mouvement.

Il est important que les gestionnaires de la nature et de l'eau cherchent (et continuent) à établir des liens avec des secteurs tels que le tourisme, l'agriculture, le captage de l'eau et le logement. Tous ces secteurs se préparent à un avenir marqué par le changement climatique, la qualité de l'environnement, la production alimentaire, la durabilité, la viabilité et une économie saine. Ensemble, nous devons donner une orientation à la transformation nécessaire en vue d'un paysage à l'épreuve du temps, et ce non seulement en raison du fait que les solutions aux différents problèmes se chevauchent souvent

ou s'emboîtent logiquement comme les pièces d'un puzzle, mais aussi parce qu'il est temps de réfléchir aux solutions qui sont ou semblent contradictoires et de les aborder avec un regard nouveau et constructif.

Pour transformer les opportunités en plans et projets de mise en œuvre concrets, il faut un cadre de qualité à partir duquel les plans et les projets devraient être soigneusement évalués. Ce cadre, qui reste encore à élaborer en détail, devra décrire brièvement et avec force les principes directeurs de l'approche spatiale des crues dans la vallée de la Gueule. Il devra toujours garantir que des questions telles que la qualité de la nature et du paysage, l'authenticité, l'histoire culturelle et le charme de la région ne soient pas négligées ou violées. Outre la qualité de l'espace, l'efficacité des mesures visant à réduire les inondations (et la sécheresse) devra également être prise en compte.

## 9.2 Trois principes

Au moment de la mise en œuvre des mesures, nous respectons autant que possible les principes ci-dessous :

1. ne pas endommager la nature
2. exploiter le pouvoir de la nature pour lutter contre les inondations et la sécheresse
3. aider la nature à s'adapter au changement climatique

## 9.3 Six questions comme fil conducteur

En vue de mettre au point la mesure naturelle la plus appropriée et la plus efficace pour chaque site, la coalition Natuurkracht estime qu'il faut commencer par se poser six questions clés :

1. La végétation peut-elle permettre de mieux collecter les eaux de pluie ici ?
2. Le sol local peut-il absorber davantage d'eau de pluie ?
3. Les eaux souterraines peuvent-elles être retenues plus longtemps dans ce sol et peuvent-elles y être absorbées en profondeur ?

4. Est-il possible de ralentir l'écoulement des eaux de surface à cet endroit ?
5. L'eau accumulée peut-elle être retenue et ralentie ici ?
6. Le cours d'eau peut-il être ralenti ici et la plaine de cette vallée peut-elle donner de l'espace aux inondations et au ralentissement de l'eau ?

## 9.4 Résumé "ralentir l'eau naturellement"

Ci-dessous, nous résumons les réponses les plus naturelles à la question "comment faire alors ?"

### 1. Augmentation de la rétention des eaux de pluie grâce à la végétation

Si l'on veut utiliser de manière optimale la rétention de l'eau par les parties aériennes des plantes, il faut assurer la présence d'une végétation luxuriante tout au long de l'année, de préférence en plusieurs couches. Cette méthode est applicable partout : sur les plateaux, les pentes, et dans les vallées. Les forêts naturelles et très structurées ainsi que les prairies naturelles (ou une mosaïque de celles-ci) très structurées (sauvages) et pâturées de manière extensive constituent des exemples parfaits de végétation jouant un rôle tout au long de l'année dans la rétention d'eau. Ce principe d'une meilleure rétention d'eau par les plantes peut s'appliquer dans tous types de végétation, dans les zones agricoles comme dans les zones urbaines.

### 2. Augmentation de l'absorption de l'eau de pluie par le sol

Si l'on veut développer des sols bien absorbants, il faudra épierrer et développer des sols pleins de vie. Cette mesure est applicable partout : sur les plateaux, les pentes et les vallées, dans les environnements urbains, les zones agricoles et les zones naturelles. Les forêts naturelles et les prairies naturelles pâturées de manière extensive (ou une mosaïque des deux) sont autant d'exemples d'un sol possédant toutes ces qualités. Dans toutes sortes de zones naturelles, agricoles ou

urbaines, il est possible d'appliquer le principe de l'augmentation de la rétention d'eau grâce à un bon entretien du sol et/ou à l'épierrage. Un bon entretien du sol implique de fournir de la matière organique, de protéger la surface du sol par de la végétation et de protéger la vie du sol contre les substances nocives et un travail du sol préjudiciable.

### **3. Rétention des eaux souterraines dans le sol et absorption par la nappe phréatique profonde**

Si l'on veut maximiser la capacité de rétention d'eau du sol et du sous-sol profond, il convient d'éliminer les drainages du sol. L'eau trouvera alors son chemin lent et naturel vers le bas. Une caractéristique de la vallée de la Gueule, en particulier dans la partie néerlandaise du bassin versant, est que le sous-sol (géologique) plus profond possède une grande capacité de stockage de l'eau. À partir de La Calamine, la perméabilité du sous-sol augmente. Plus on se dirige vers la basse vallée de la Gueule, plus les couches de marne sont épaisses, et d'importantes couches de sable importantes apparaissent, toutes dotées d'une grande capacité d'infiltration.

Lorsqu'on veut mieux utiliser la capacité de stockage naturelle du sous-sol, on cherchera donc dans la mesure du possible des endroits avec un sous-sol composé de marne, de gravier et de sable pour la collecte de l'eau (dans les wadis, etc. ou dans la nature sauvage), puis les endroits où les couches perméables sont plus proches de la surface. En certains endroits, ces couches sont naturelles (pentes plus raides, dolines), tandis que dans d'autres, elles y sont suite aux excavations (marnières, gravières). Ces couches très perméables se rencontrent aussi souvent dans les vallées sèches.

### **4. Retardement des eaux de ruissellement en terrain accidenté**

Si l'on souhaite ralentir les eaux de ruissellement de sorte qu'elles disposent de plus le temps pour pénétrer dans le sol ou pour arriver plus tard dans la vallée, il faudra commencer en haut des pentes. Une façon d'y parvenir est de développer sur les bords de plateaux

(arrondis) des forêts de feuillus structurées et des prairies naturelles structurées et sauvages. Une fois qu'elle dévale les pentes, l'eau peut encore être ralentie avant de converger vers une vallée, un fossé ou une plaine alluviale. Sur les pentes les plus raides (de plus de 12 %), tout comme en bordure de plateau, les forêts de feuillus et les prairies naturelles (à pâturage très extensif) sont utiles pour fournir une force de freinage suffisante. Sur les pentes un peu plus douces, des obstacles sous forme de larges haies, de tranchées, de canaux peuvent offrir une solution naturelle. Sur les pentes les plus planes (inférieures à 7 %), les prairies peuvent suffire. S'il y a des drainages dans les pentes, il faudra les supprimer pour éviter les écoulements souterrains rapides. Outre la végétation, les irrégularités du sol (comme les empreintes de pattes) peuvent également contribuer au ralentissement et à l'infiltration de l'eau.

### **5. Ralentir et retenir les accumulations d'eau**

Si l'on souhaite ralentir et retenir naturellement l'eau qui s'est accumulée dans les basses terres, les petites vallées sèches et les vallées d'affluents, il est possible de développer une mosaïque de forêts marécageuses, de prairies sources humides et de végétation des marais avec de grandes plantes palustres telles que les roseaux, les carex et les quenouilles. Les arbres tombés (déracinés par le vent, abattus, coupés) renforcent l'effet de freinage.

Grâce à la végétation et d'autres processus naturels naît un marais à écoulement "lent". Presque toutes les vallées (latérales) et les zones de sources de la vallée de la Gueule et de la vallée de la Gulp, qui sont relativement plates, offrent des possibilités à cet égard. La végétation réduit également le pouvoir érosif de l'eau et empêche les incisions profondes. Là où une incision profonde pose problème, le lit du ruisseau peut être relevé et, là où il y a des drainages, ceux-ci peuvent être éliminés.

### 6. Ralentir le cours d'eau et freiner l'eau dans la plaine inondable

Une fois dans le cours d'eau, la nature a encore le pouvoir de transformer l'"eau rapide" en "eau lente". Si l'on souhaite ralentir le ruisseau, il convient de lui opposer la résistance de la végétation dans le lit du cours d'eau (par exemple sur les bancs de gravier), des barrages de castors, des arbres tombés et d'un cours sinueux (avec méandres) du lit. Il est également possible d'augmenter la résistance et le ralentissement d'un cours d'eau profondément encaissé en l'élargissant et en le rendant moins profond. Si un affluent de la Gueule est ralenti et muni de barrages, la Gueule s'en trouvera désengorgée. Le pic de crue de la Gueule est alors abaissé. Avec le ralentissement de l'eau, les boues qui ont été transportées se déposent. Ceci réduit les dommages causés par les inondations lesquels sont certainement dus à la boue plus encore qu'à l'eau. En cas de très fortes crues, la plaine (plaine inondable) peut recueillir et ralentir l'eau.

Si l'on souhaite donner plus d'espace à l'eau dans une plaine naturelle, il faudra l'ancrer autant que possible dans la planification (aménagement du territoire). Lorsque les berges sont très élevées et que les cours d'eau sont profondément encaissés, l'abaissement local des berges et/ou l'élévation du lit du cours d'eau permettront au cours d'eau de s'écouler plus rapidement. Les écoulements larges sont plus lents et encore plus ralentis par une végétation sauvage. La nature des vallées de cours d'eau tolère les inondations; il est donc évident qu'il faut réserver plus d'espace à la nature dans les vallées de cours d'eau. Lorsque l'habitat est trop dense sur les rives des cours d'eau et sur les plaines des vallées, des problèmes se posent.



La plaine inondable naturelle de la Gueule est une zone de randonnée attrayante.

## COLOPHON

<b>Produit</b>	Retenir et retarder l'eau dans la vallée de la Gueule – Utiliser la nature contre les inondations et la sécheresse
<b>Donneur d'ordre</b>	Natuurkracht (Natuurmonumenten, ARK Rewilding Nederland, Natuur- en Milieufederatie Limburg, Het Limburgs Landschap et WWF Netherlands)
<b>Date</b>	23 octobre 2023
<b>Numéro de projet</b>	2802
<b>Auteurs</b>	H+N+S Landscape Architects : Jasper Hugtenburg, Marijne Kreulen et Floor Hartveld Bureau Stroming : Jos de Bijl et Alphons van Winden Acacia Water : Maarten de Waterloo Natuurkracht : Hettie Meertens et Jos Rademakers
<b>Droits d'auteur</b>	Toutes les photos sont de Hettie Meertens, sauf mention contraire.
<b>Traduction</b>	Solange Collings



**H+N+**  
**S+ +**

**H+N+S**  
**Landscape Architects**

**Adresse**

Soesterweg 300  
3812 BH  
Amersfoort

**Adresse postale**

Postbus 1603  
3800 BP  
Amersfoort



**H+N+**  
**S+ +**

