



Webinaire DHI :
*Quantification de l'impact hydrologique
des solutions basées sur la nature avec
MIKE SHE*

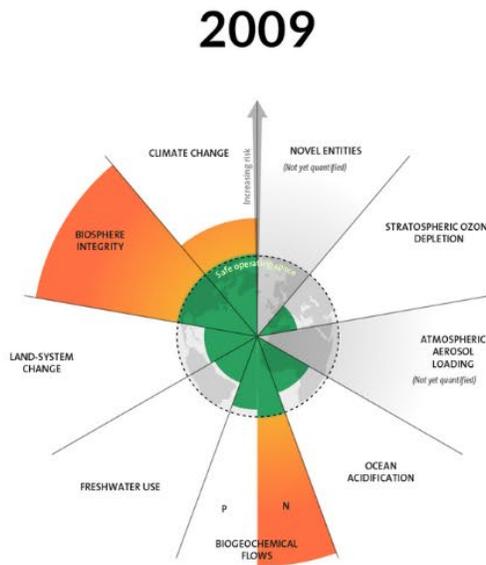
Aurore Degré - Adrien Michez avec
Benjamin Guillaume & Lisa di Maggio

Profoundly changing water cycle

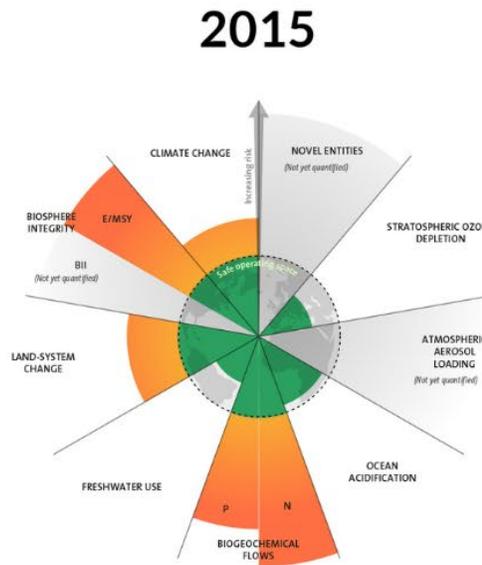
The assessment, published in the journal *Nature Reviews Earth & Environment*, is based on evidence of widespread changes in soil moisture relative to mid-Holocene and pre-industrial conditions and green-water driven destabilization of ecological, atmospheric, and biogeochemical processes.

“ Water is the bloodstream of the biosphere. But we are profoundly changing the water cycle. This is now affecting the health of the entire planet. ”

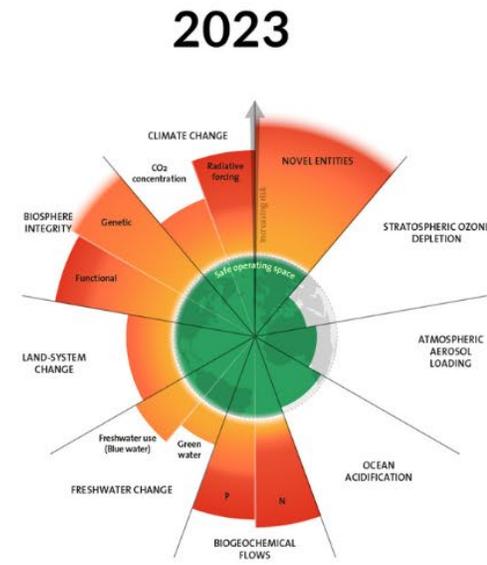
Lan Wang-Erlandsson, lead author



7 boundaries assessed, 3 crossed



7 boundaries assessed, 4 crossed



9 boundaries assessed, 6 crossed

Un cycle de l'eau qui s'intensifie,
Une variabilité qui atteint des seuils inédits

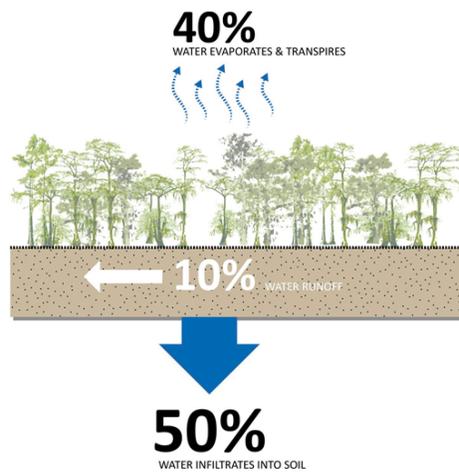
... Sous le double effet de l'anthropisation et de l'évolution climatique



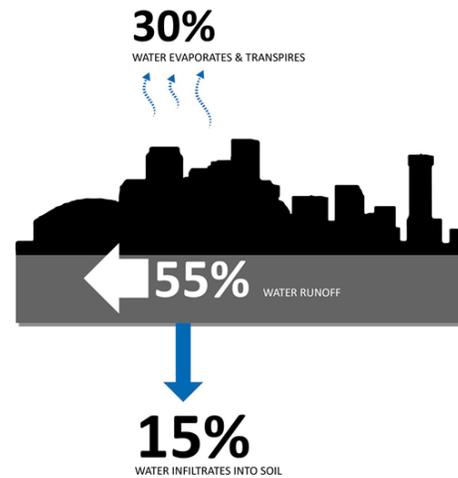
Volumes et dynamiques

WATER ABSORPTION

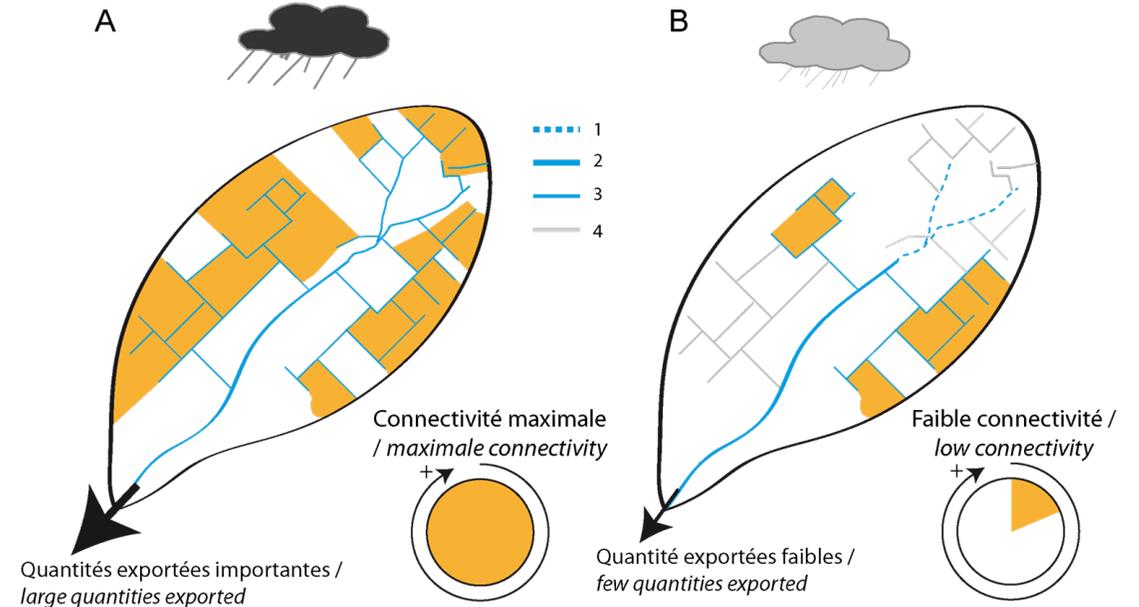
IN THE NATURAL HYDROLOGIC CYCLE, VEGETATED SOILS ARE IMPORTANT IN REGULATING WATER FLOW



URBANIZATION RESULTS IN INCREASED IMPERVIOUS SURFACES, DISRUPTING THE HYDROLOGIC (WATER) CYCLE



(source of % data: US Environmental Protection Agency, 1993)

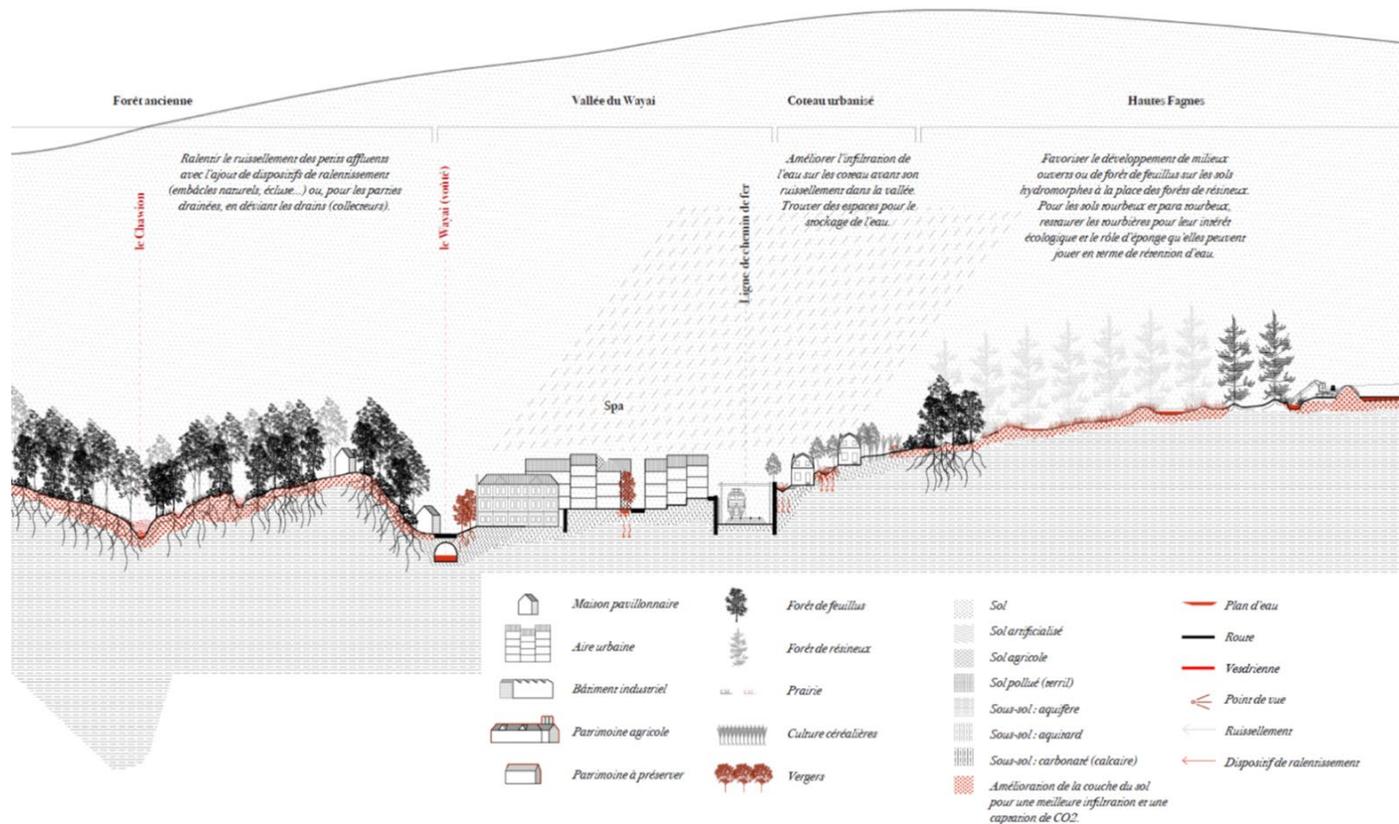




Dans la diversité d'un bassin versant

Toutes les combinaisons sol/occupation du sol/paysage ont un rôle potentiel à jouer

Coupe du potentiel de résilience 2/2





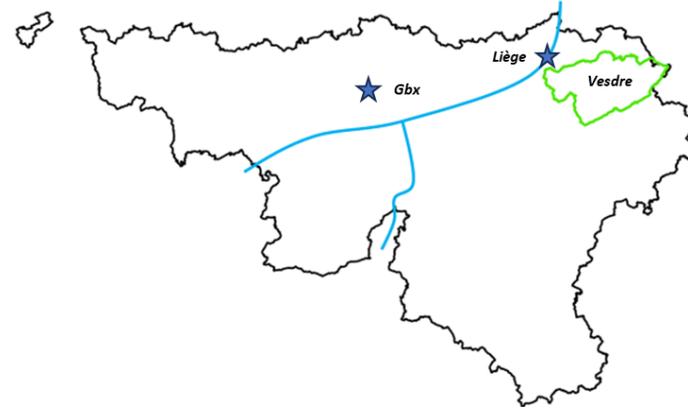
Contexte : le bassin versant de la Vesdre

Gradient altitudinal fort

→ De 700 à 65m

Sols principalement limono-caillouteux

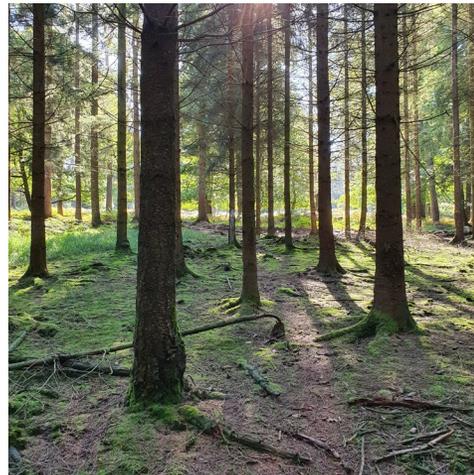
Plateau tourbeux des Hautes



 35%

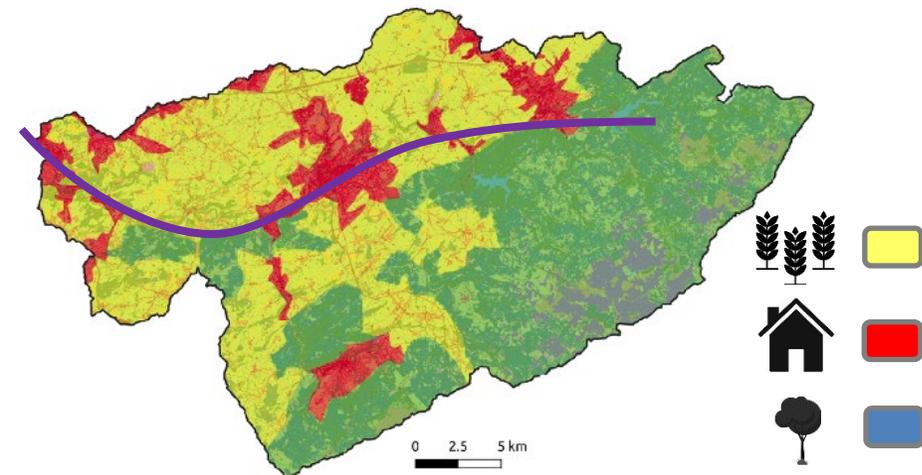


 45%
≈ 50 - 50 %



 20%

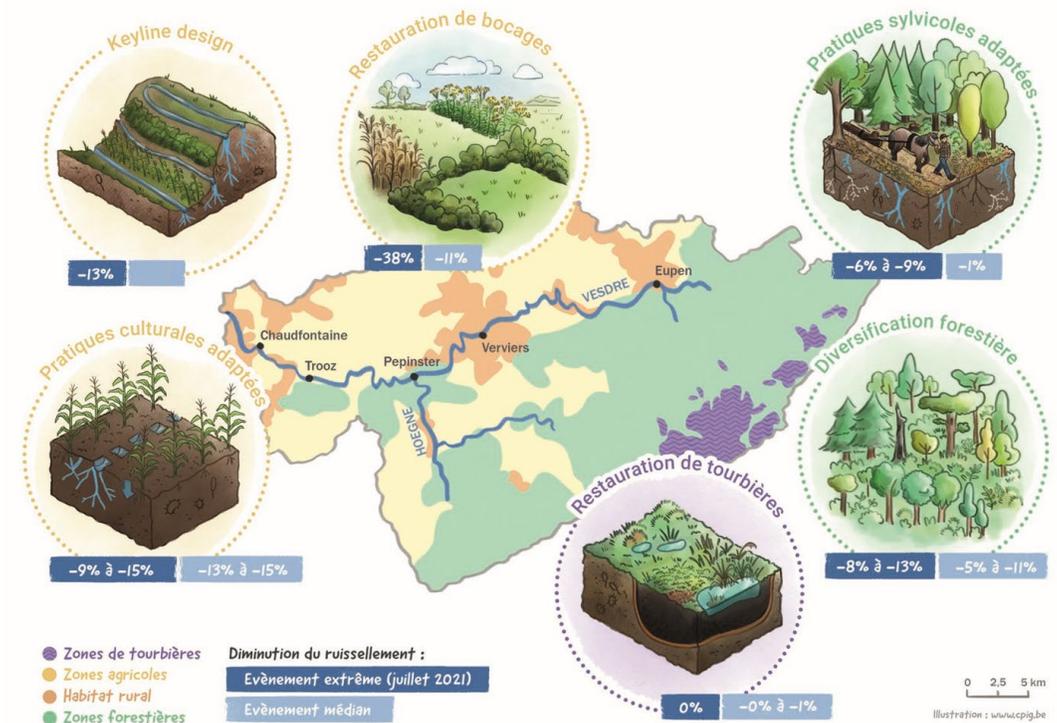
Le long de la Vesdre





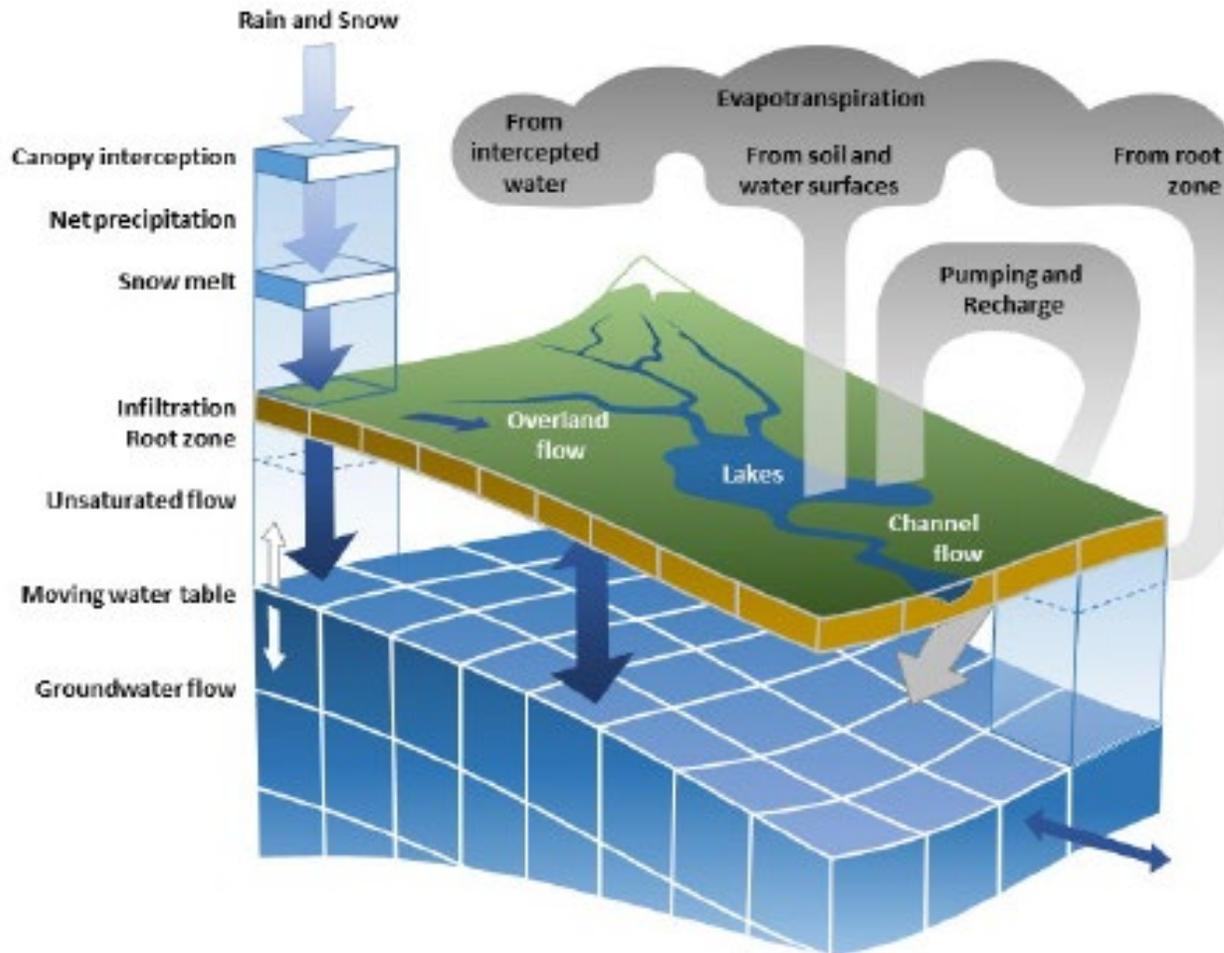
Contexte : le bassin versant de la Vesdre

- ▶ Crues de 2021
- ▶ Schéma Stratégique Vesdre
 - Large consortium of experts
 - › Actions identifiées pour mitiger les risques
 - Sécheresse / crues
 - Projet MODREC
 - › Représentation / quantification hydrologique SFN
 - › Utilisation de MikeSHE





Modélisation physiquement basée : MikeSHE



Représentation « physique » des principaux processus du cycle hydrologique :

dérivée des lois physiques régissant les processus (conservation de la masse, énergie, ...)

→ Ecoulements réseau hydrographique / drainage

→ Evapotranspiration / Infiltration (végétation)

→ Ruissellement de surface

→ Ecoulements hydrodermiques (vadose)

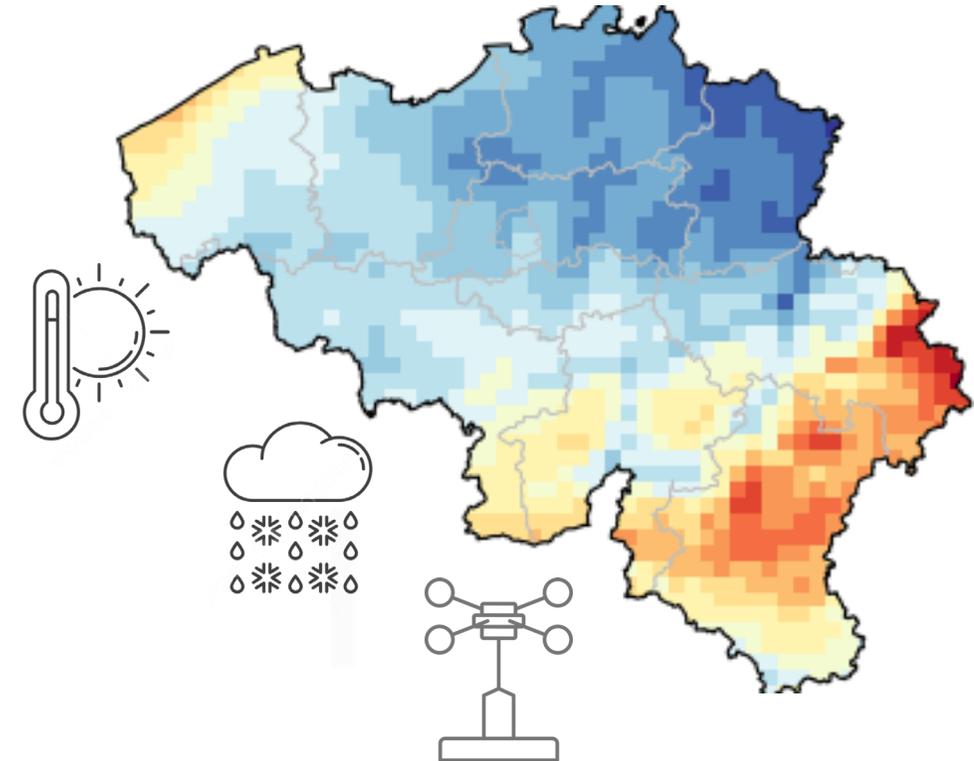
→ Ecoulements souterrains (nappe)

Approche spatialement distribuée - maillée



Paramétrisation de MikeSHE : *flux de surface*

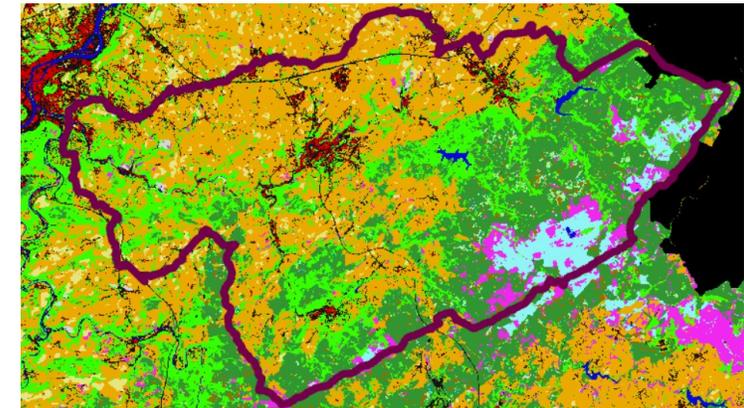
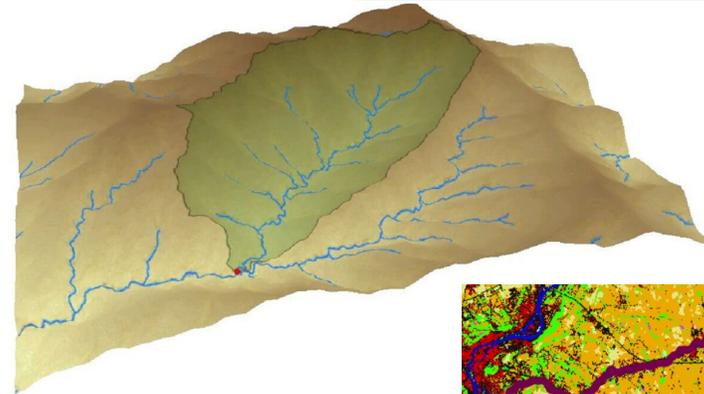
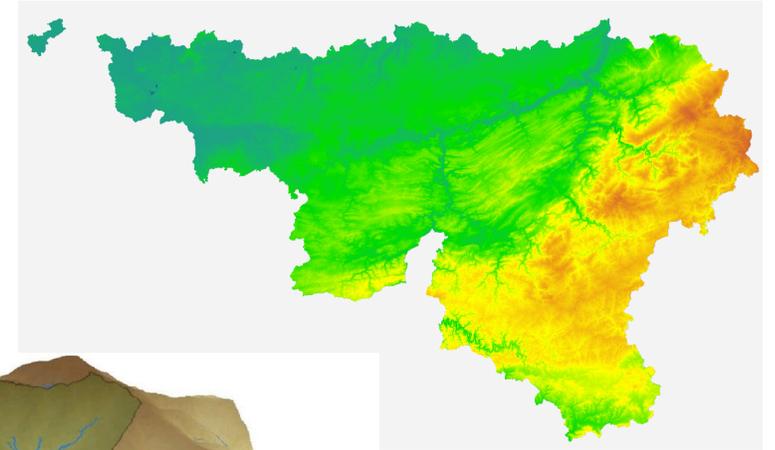
- ▶ Couplage des processus
 - Précipitation / Évapotranspiration / Infiltration / Ruissellement
 - Bilan réalisé à chaque itération
- ▶ Données météorologiques
 - Précipitations horaires et évapotranspiration potentielle





Paramétrisation de MikeSHE : *flux de surface*

- ▶ Flux d'eau
 - Au sein du réseau hydrographique (modèle hydraulique Mike1D/mikehydro)
 - Ruissellement
- ▶ Rôle central des données topo
 - MNT LiDAR régional
 - Identification de la direction et de l'accumulation du ruissellement
- ▶ Rugosité et capacité de rétention
 - Dérivée de données d'occupation des sols





Paramétrisation de MikeSHE : *flux en vadose*

Les sols et l'eau....
3 dimensions, 3 phases

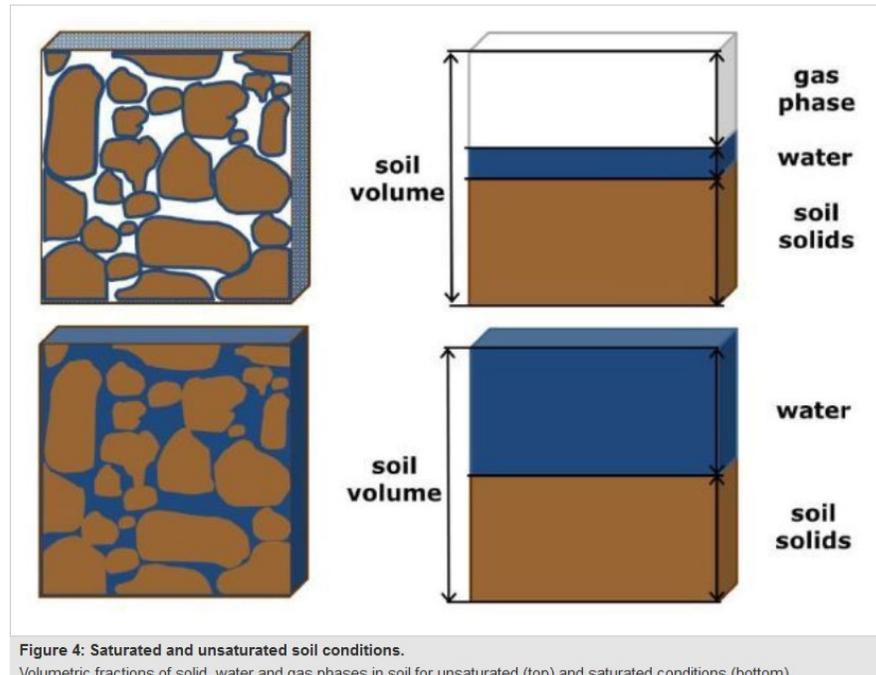
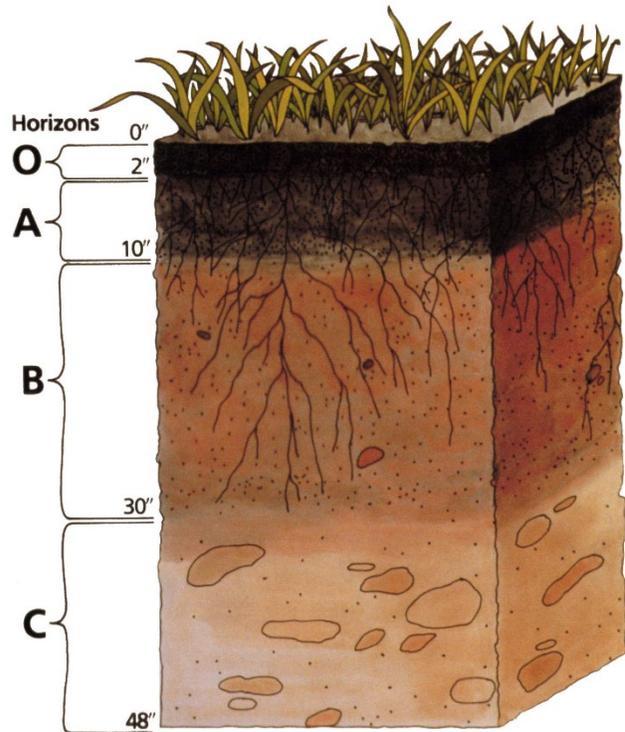


Figure 4: Saturated and unsaturated soil conditions.
Volumetric fractions of solid, water and gas phases in soil for unsaturated (top) and saturated conditions (bottom).

- Chaque horizon est caractérisé par
- un **volume** de vide qui peut stocker de l'eau
 - une **vitesse** maximale de déplacement de l'eau

Systeme complexe !

**Au cœur du complexe
eau/sol/plante**

« Réacteur » des SFN!



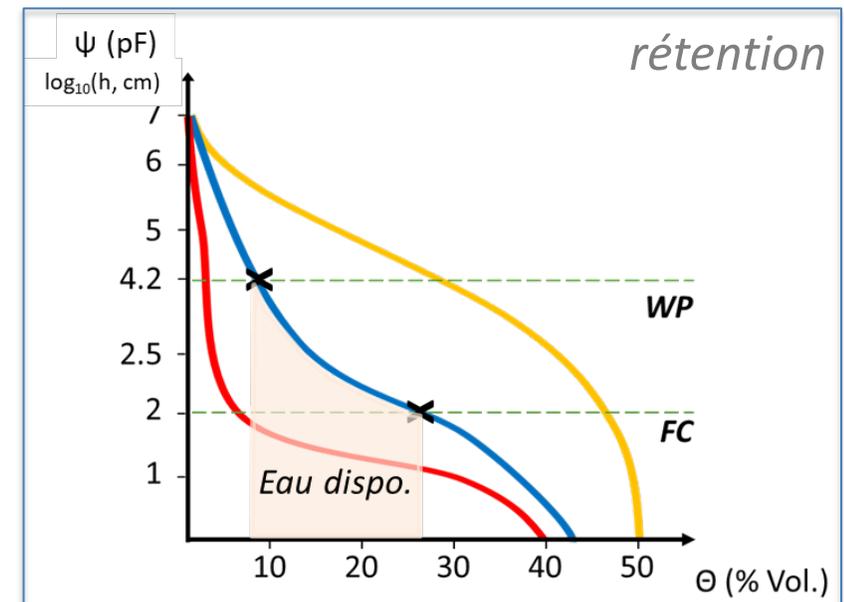
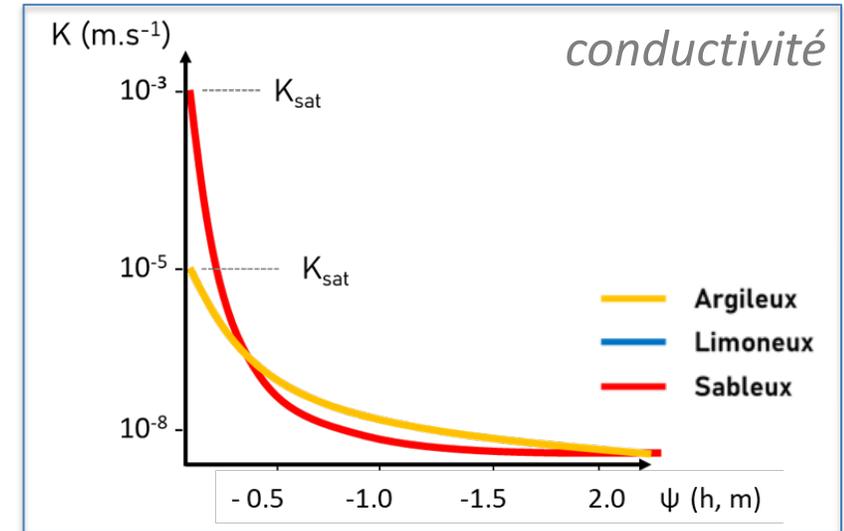
Paramétrisation de MikeSHE : *flux en vadose*

► Avantages de MikeSHE

- Couplage itératif entre surface, zone vadose et zone saturée
- Calcul correct de l'humidité du sol et de la dynamique de la nappe phréatique dans la partie inférieure du profil de sol

► Utilisation du module basé sur l'équation de Richards

- Courbe de rétention
 - › capacité du sol à retenir l'eau
- Courbe conductivité hydraulique
 - › capacité du sol à laisser circuler l'eau

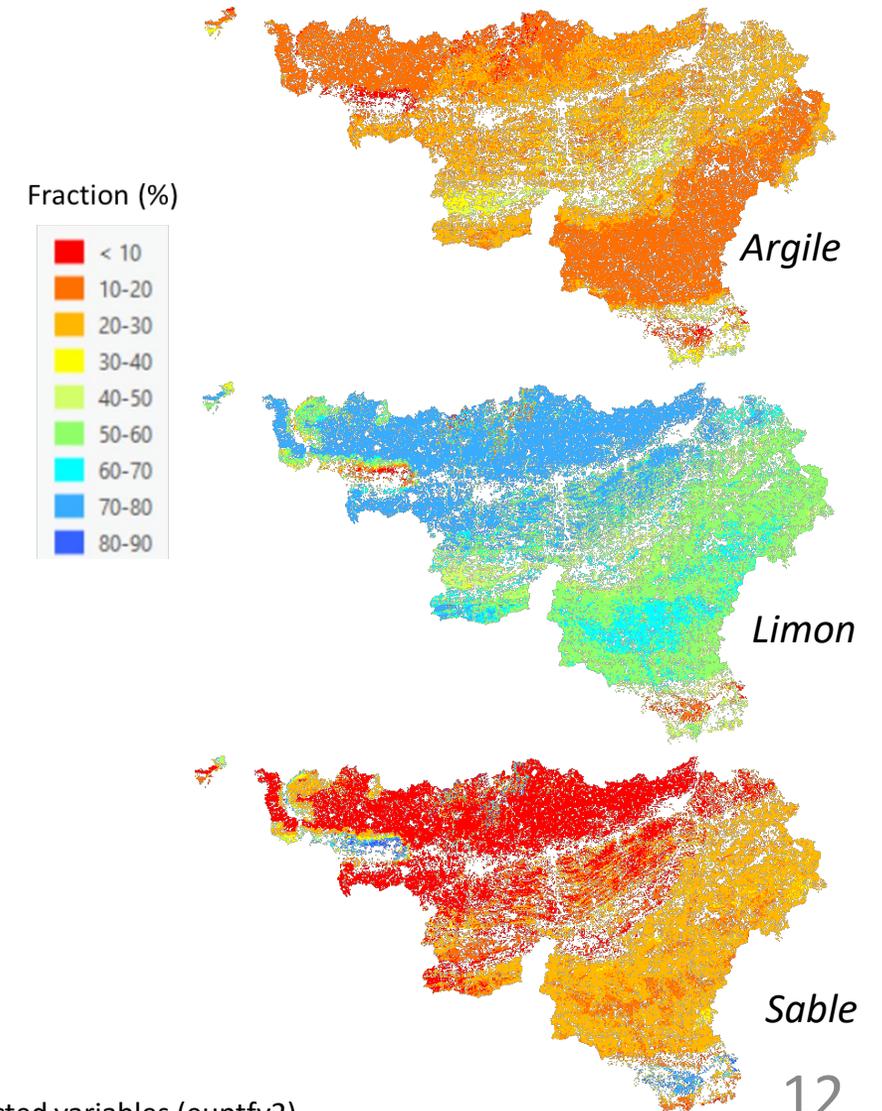




Paramétrisation de MikeSHE : *flux en vadose*

► Courbe conductivité hydraulique et rétention

- Sols minéraux via FPT (Szabó et al. 2021)
 - › Carte Numérique des Sols
 - › Textures surface, 40-80 cm, 80-120 cm
 - › Charge caillouteuse
- Sols organiques / Tourbeux
 - › Mesures in-situ

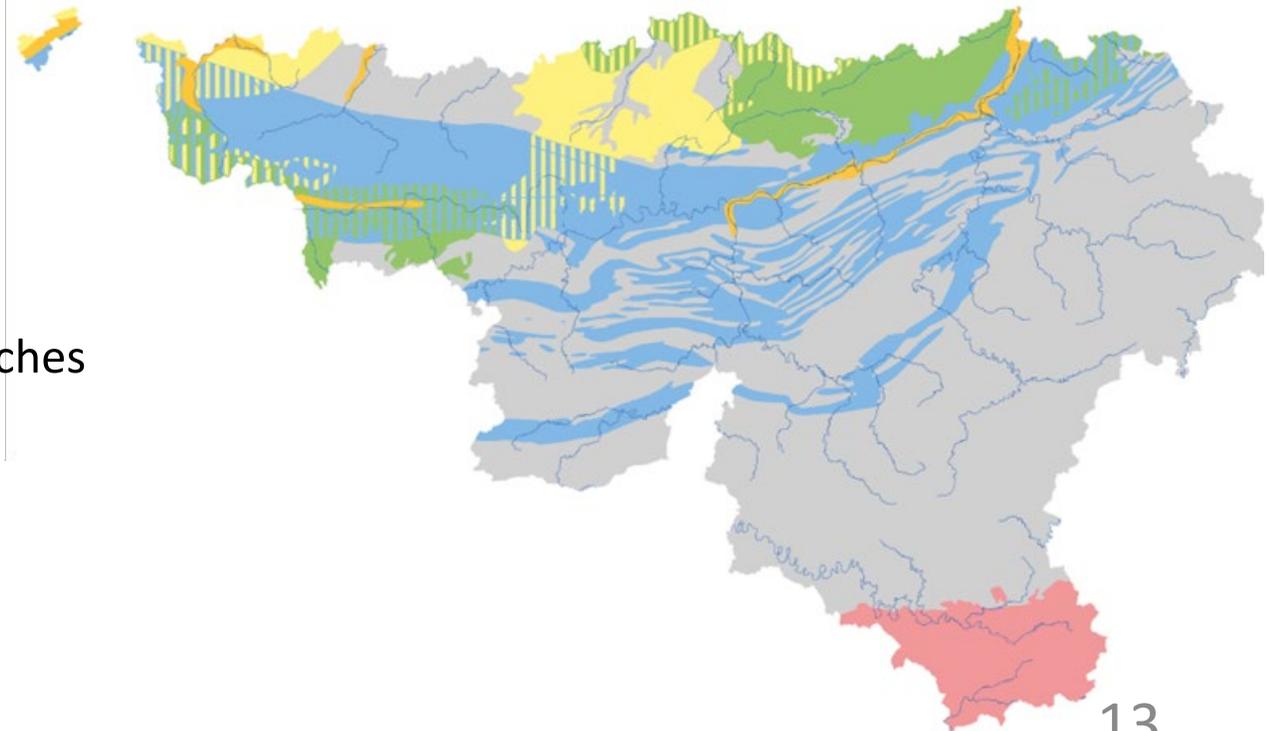




Paramétrisation de MikeSHE : *flux en zone saturée*

► Utilisation du module basé sur les équations de Darcy

- Basé sur les propriétés du matériau saturé
 - › Conductivité hydraulique à saturation
- Approche 2D
 - › Flux horizontaux et verticaux
- Donnée centrale
 - › Carte hydrogéologique de Wallonie
 - › Epaisseur et propriétés hydro des couches
 - › Résolution plus grossière (1km²)

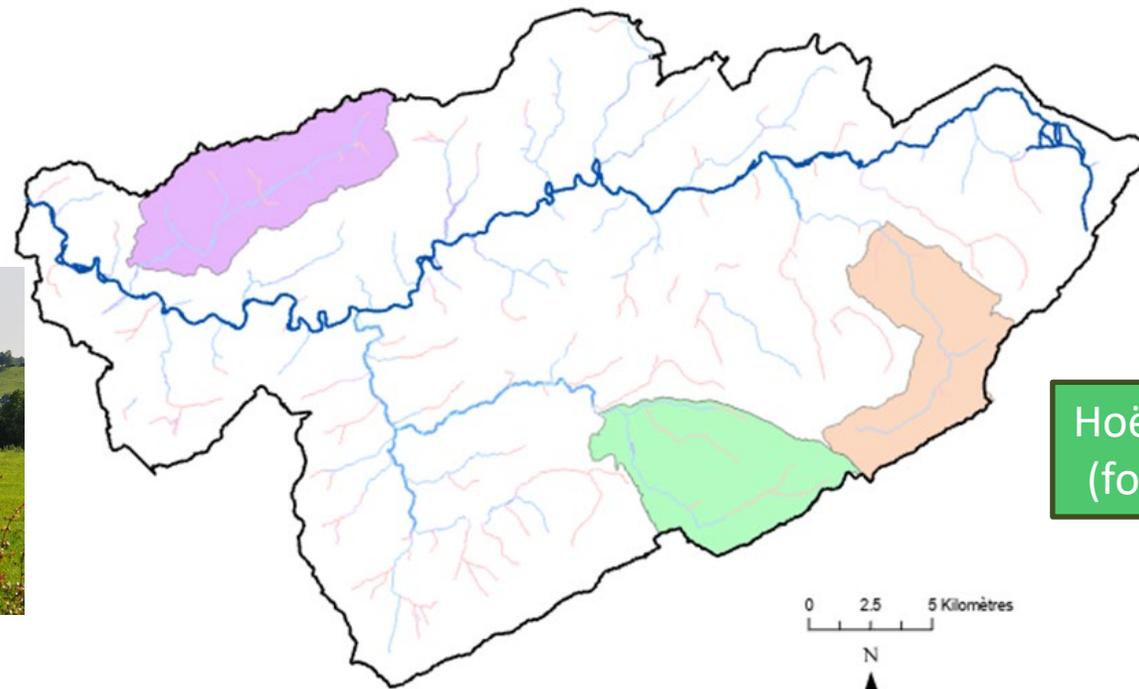




Résultat de modélisation

► Modélisation de 3 bassins

Magne
(agricole)



Helle (tourbe)



Hoëgne
(forêt)

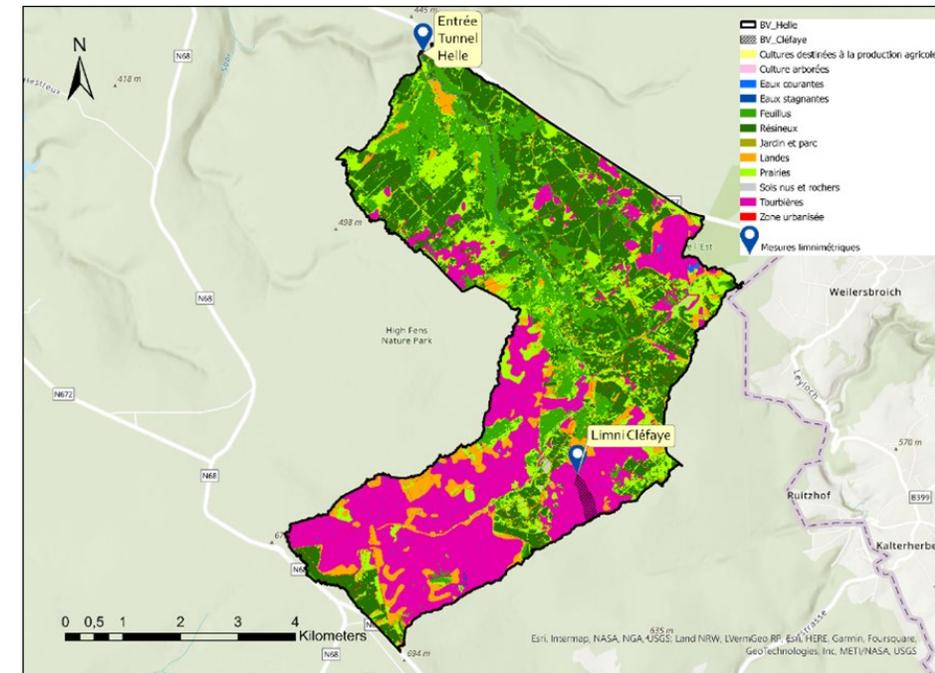




Bv de la Helle – tourbières et forets

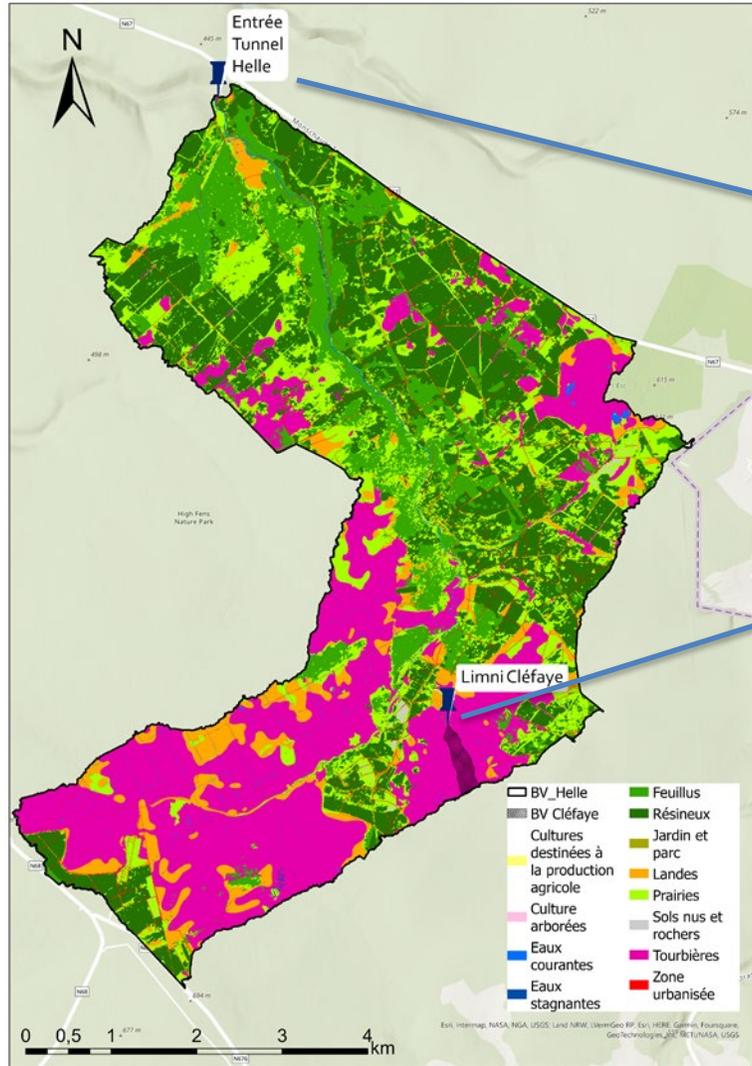


Annick Pironet Misten



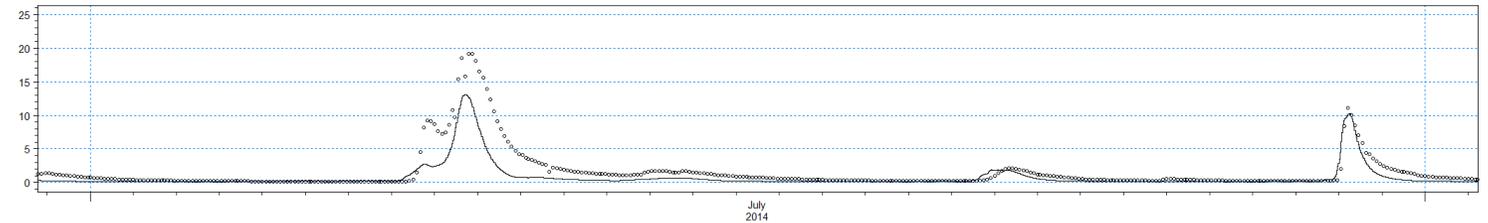
Bassin tourbeux

	Hydro Year	ME	MAE	RMSE	STDres	R	R ² -Nash
Helle exutoire	2012-2015	0,1934	0,37539	0,76650	0,74145	0,86330	0,72761
Cléfaye	2013-2015	0,00089	0,00405	0,00871	0,00867	0,86570	0,73687

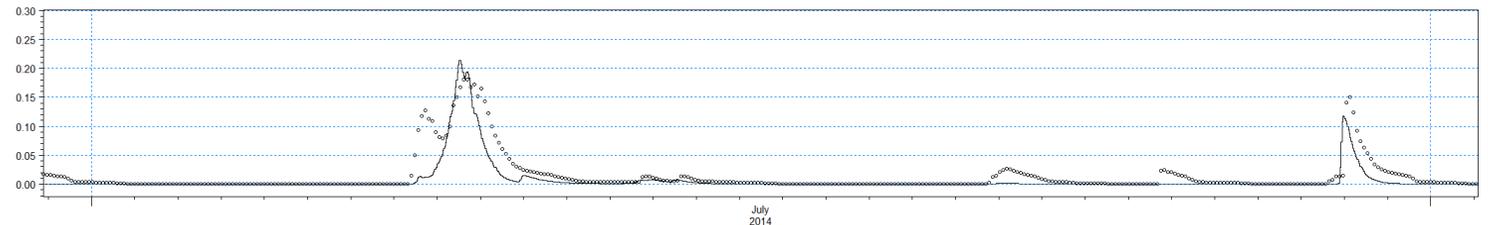


Situation « avant aménagement »

**Helle outlet
(36,9 km²)**

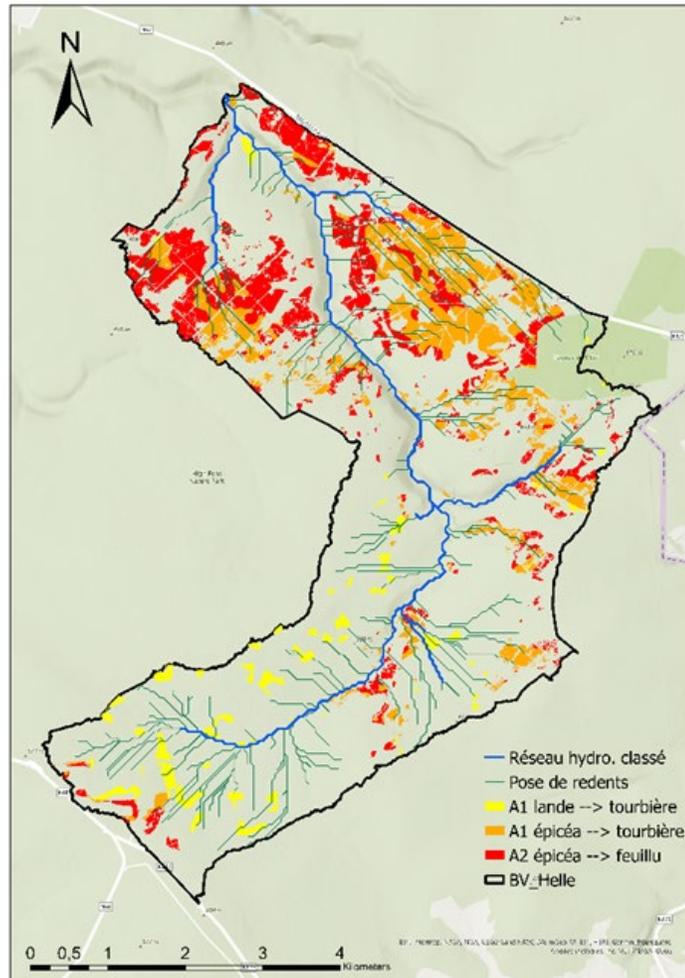


**Cléfaye outlet
(14ha)**





Améliorations hydrologiques



Total aménagé : 35% surf. (sur 36 km²)

Pratiques forestières limitant la compaction des sols (A5) : 24% surf.

Diversification des milieux sur sols hydromorphes (A2) : 9% surf.

Restauration des sols tourbeux et paratourbeux (A1) : 11% surf.

Redents (B2 + B3) : 197

Mares : 26





Efficacité hydrologique

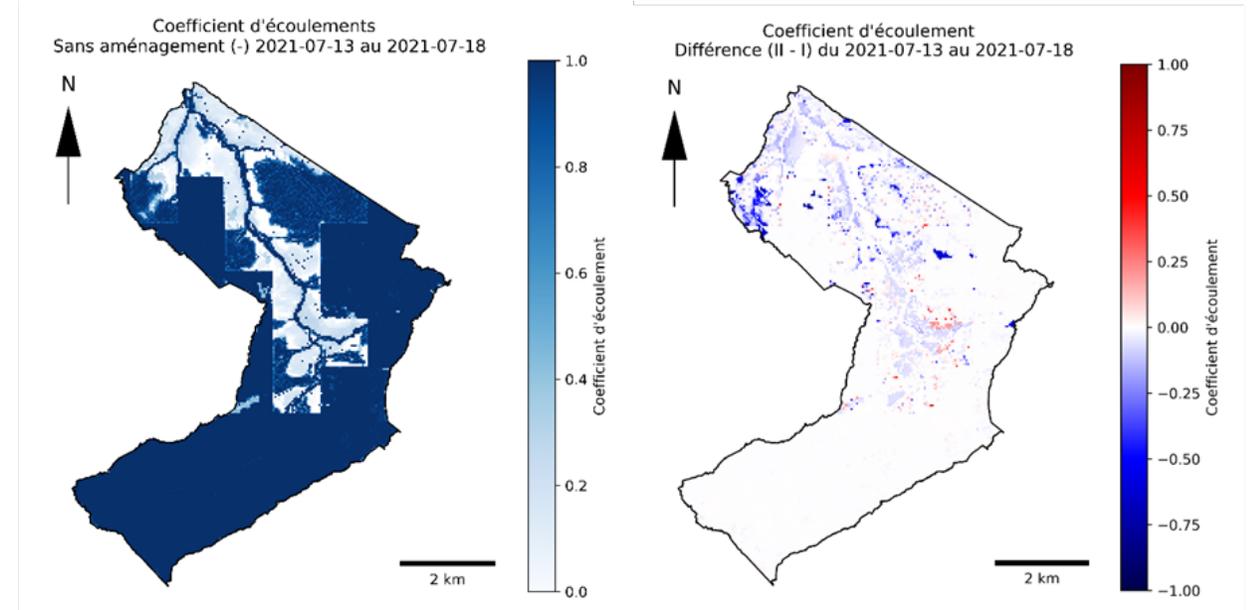
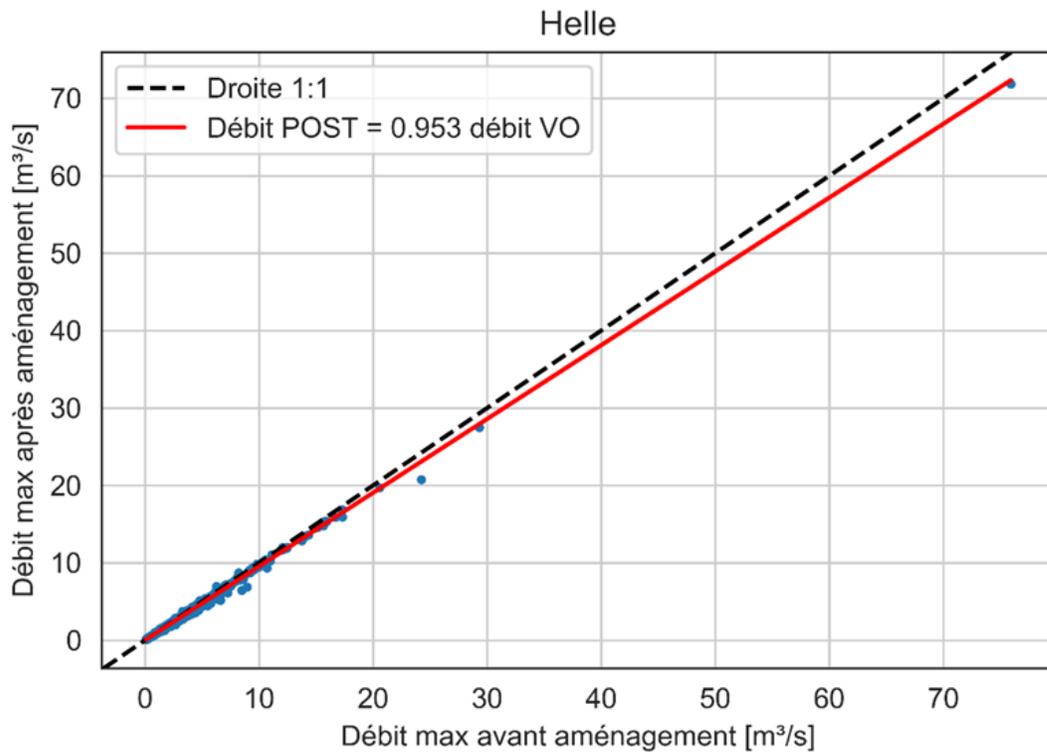
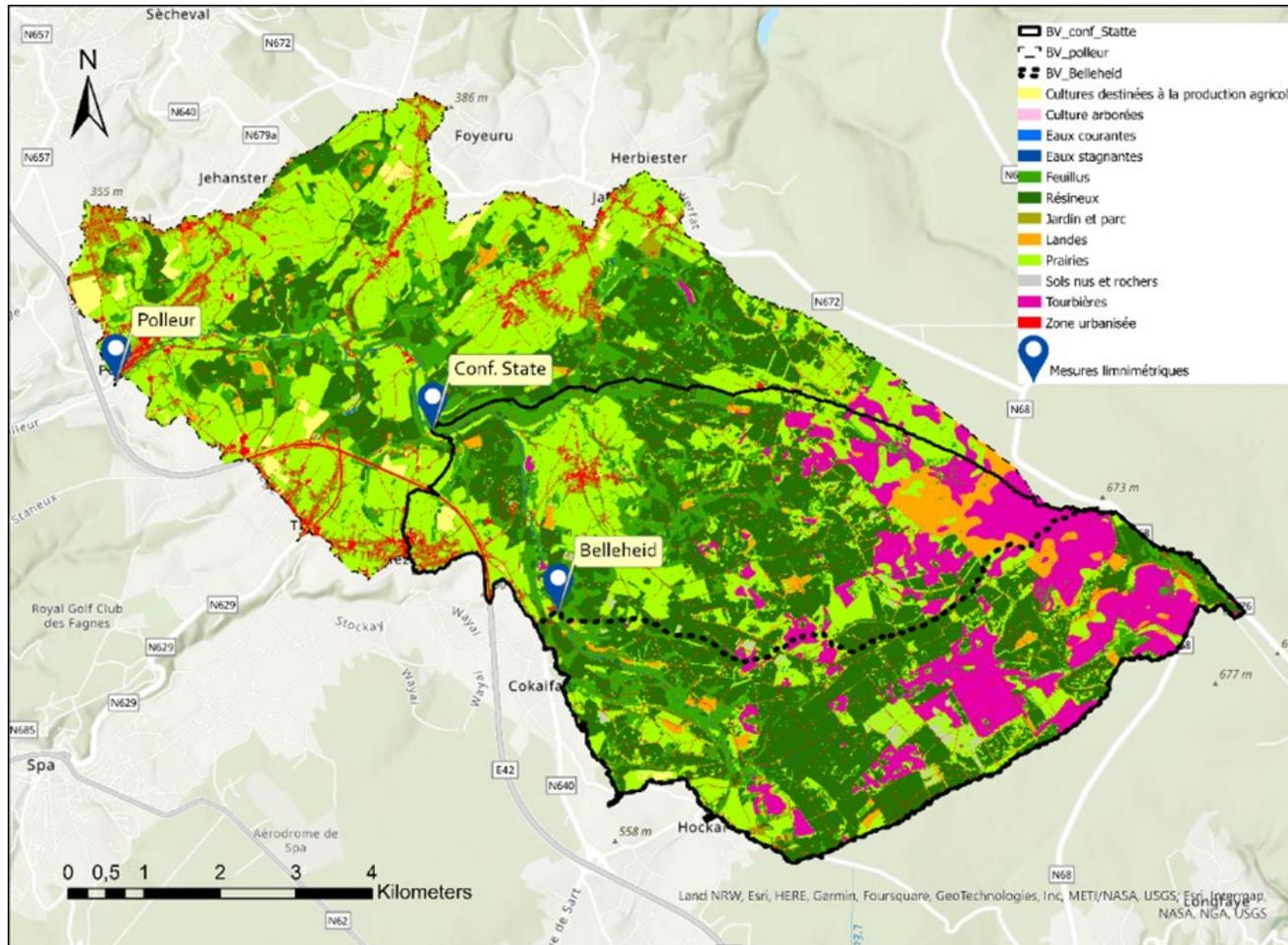


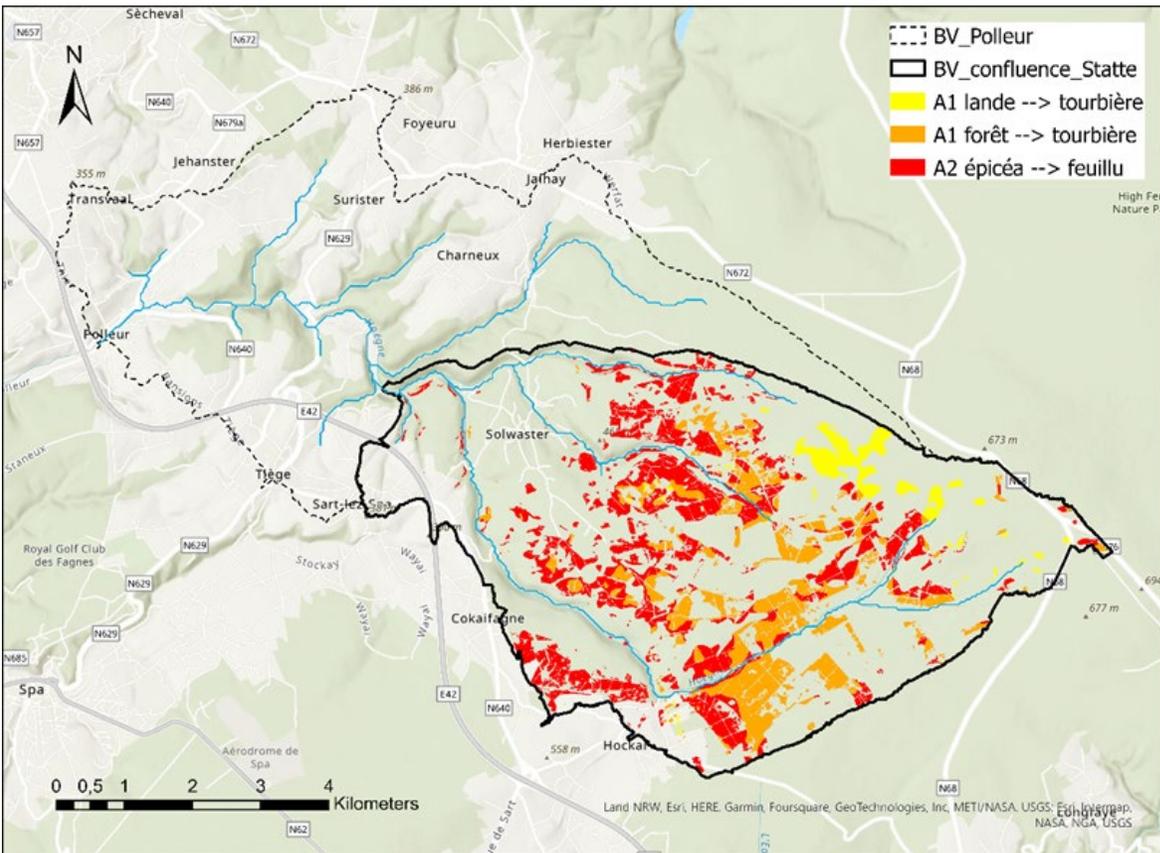
Figure 1 : Coefficients d'écoulement du 13 juillet au 18 juillet 2021 avant aménagement (en haut à gauche), après aménagement (en haut à droite) et différence après – avant aménagement (en bas). Les quantités ruisselées diminuent dans les zones en bleu.



BV de la Hoegne – forets et tourbières



Améliorations hydrologiques



Pratiques forestières de conservation des sols

Sols tourbeux et paratourbeux (460 Ha)

11% du BV Conf_Statte

6% du BV Polleur

Sols hydromorphes (539 Ha)

13% du BV Conf_Statte

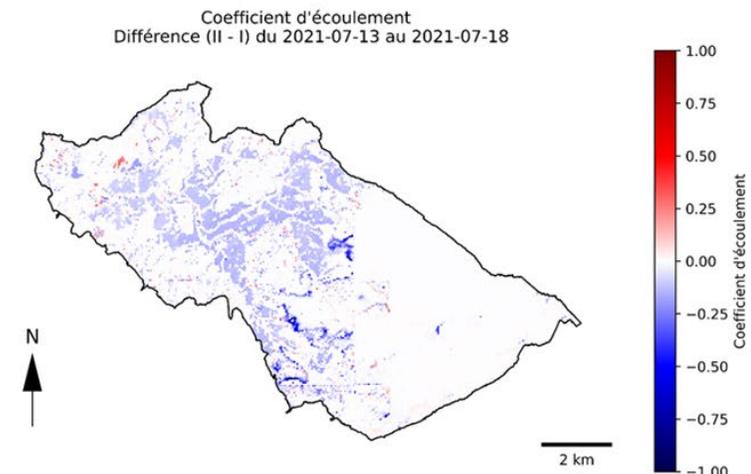
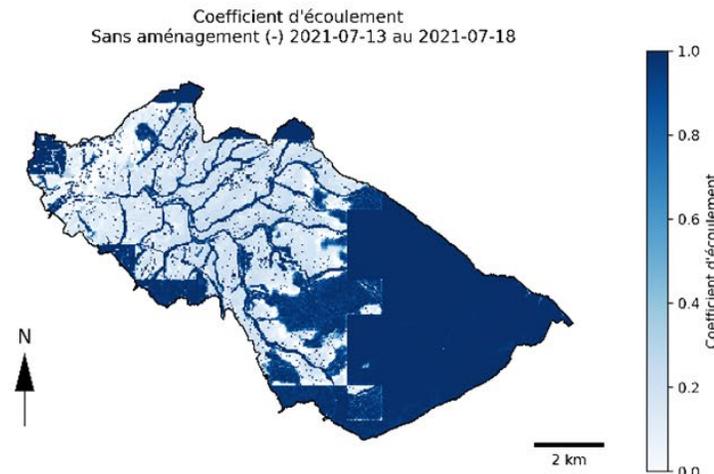
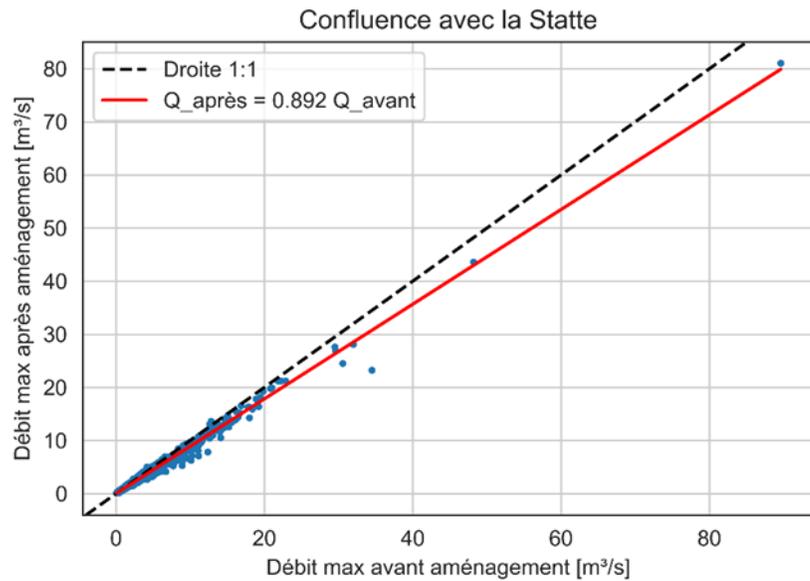
7% du BV Polleur

49 mares

165 redents (± 25 km d'axes aménagés)



Efficacité hydrologique





Efficacité par type d'aménagement (Hoëgne)

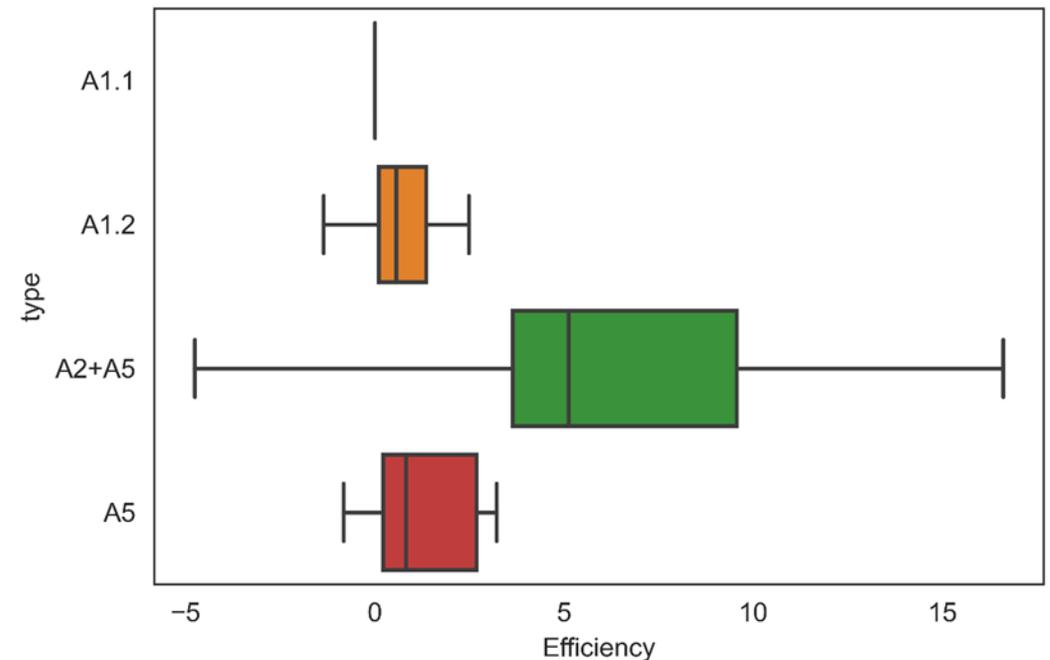
- ▶ 1089 événements pluvieux
- ▶ 88 ayant entraînés un ruissellement > 5 mm (non aménagé)
- ▶ Calcul de réduction du ruissellement après aménagement (transformation immédiate)

A1.1 : Restauration de landes tourbeuses

A1.2 : Conversion de plantation de résineux en lande tourbeuse

A2 : Conversion de plantation de résineux en forêt feuillue

A5 : Pratiques forestières limitant la compaction des sols





Bilan hydrologique par type d'aménagement

Les forêts feuillues infiltrent plus et augmentent l'évapotranspiration en prélevant l'eau en profondeur dans les sols.

Les sols, plus secs en surface, particulièrement en été absorbent mieux les pluies d'été.

A1.1 : Restauration de landes tourbeuses

A1.2 : Conversion de plantation de résineux en lande tourbeuse

A2 : Conversion de plantation de résineux en forêt feuillue

A5 : Pratiques forestières limitant la compaction des sols

Hoëgne	A1.1	-51	25	173	19	3	3	267	39	-1	0	359	368
	A1.2	-91	72	325	128	5	18	372	59	7	31	506	540
	A2+A5	-90	71	399	348	19	63	374	61	49	136	339	372
	A5	-95	60	425	453	15	24	420	61	78	281	302	360
	Hoëgne	-77	43	345	322	153	185	359	50	59	176	380	416
	A1.1	-0	0	0	-0	-0	-0	0	0	-0	-0	0	0
	A1.2	-7	-36	29	8	-1	-0	44	-10	-2	7	-7	-1
	A2+A5	-11	-35	15	58	-2	-4	135	-6	-44	22	-11	-1
	A5	-0	0	-1	-0	0	-1	2	0	1	-1	9	9
	Hoëgne	0	-4	2	6	-1	-1	13	-1	-2	3	2	3
		Interception - été -	Interception - hiver -	Infiltration - été -	Infiltration - hiver -	Résurgence - été -	Résurgence - hiver -	Evapotranspiration - été -	Evapotranspiration - hiver -	Recharge - été -	Recharge - hiver -	Stock sol - été -	Stock sol - hiver -

Figure 1 : Valeur (VO : en haut) et différence (POST - VO : en bas) absolue moyenne sur 19 ans des flux et stocks d'eau exprimés en mm par semestre hydrologique (été - hiver) en fonction des différents aménagements (A1.1, A1.2, A2+A5, A5) et sur l'ensemble du bassin versant de la Hoëgne.

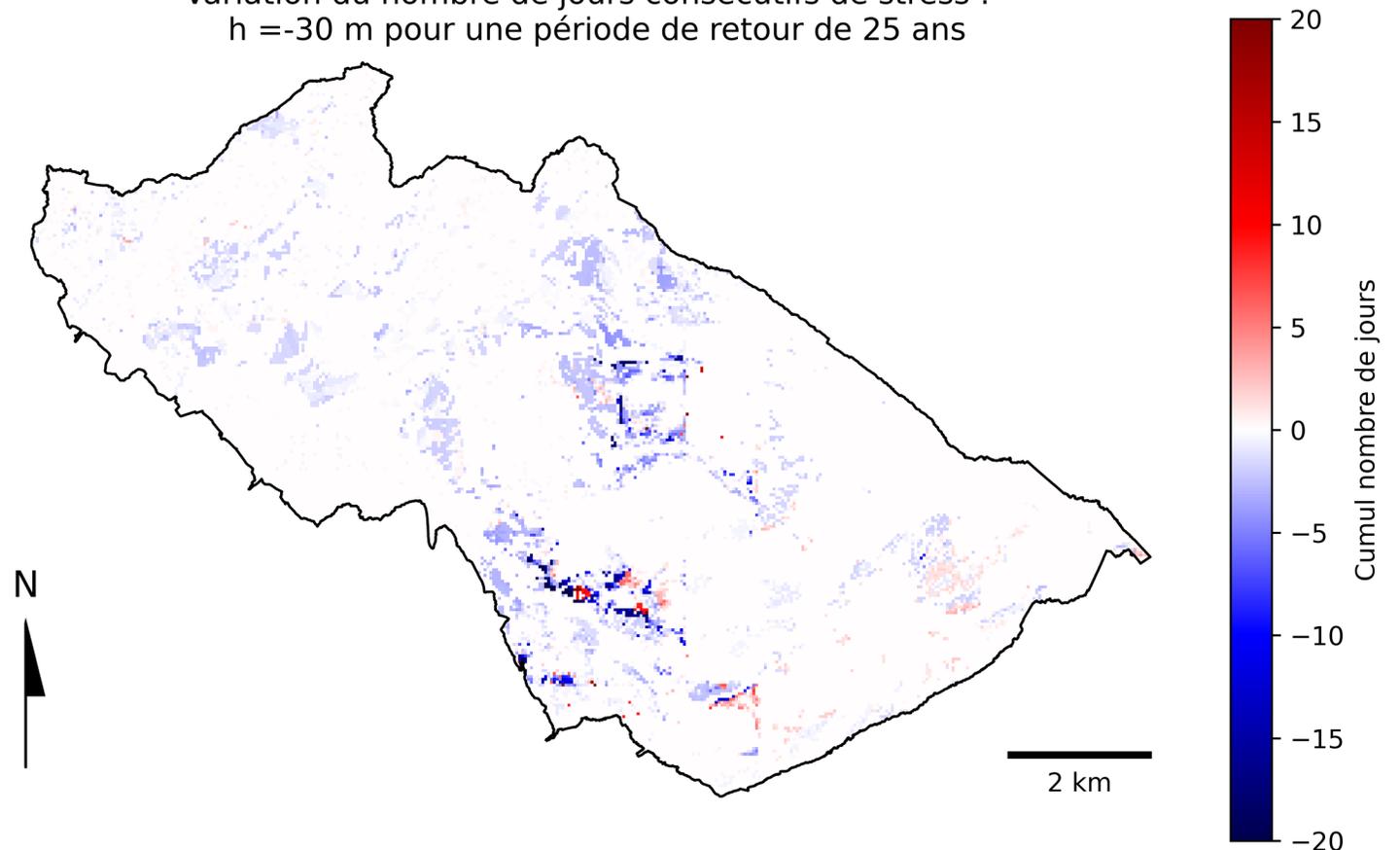


Impact des mesures sur la sécheresse

Variation du nombre de jours consécutifs de stress :
h = -30 m pour une période de retour de 25 ans

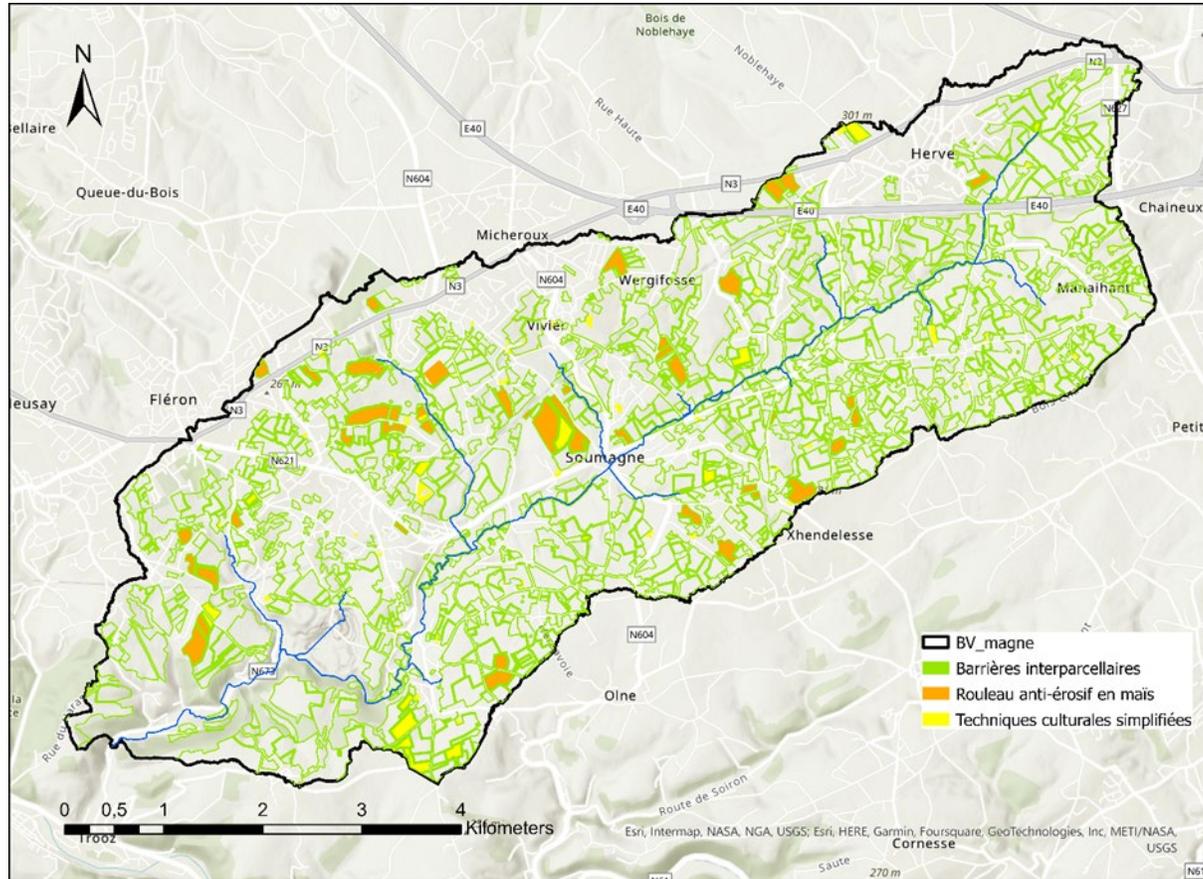
Large dominance d'une
diminution du nombre de
jours de sécheresse

-> no regret





Améliorations hydrologiques

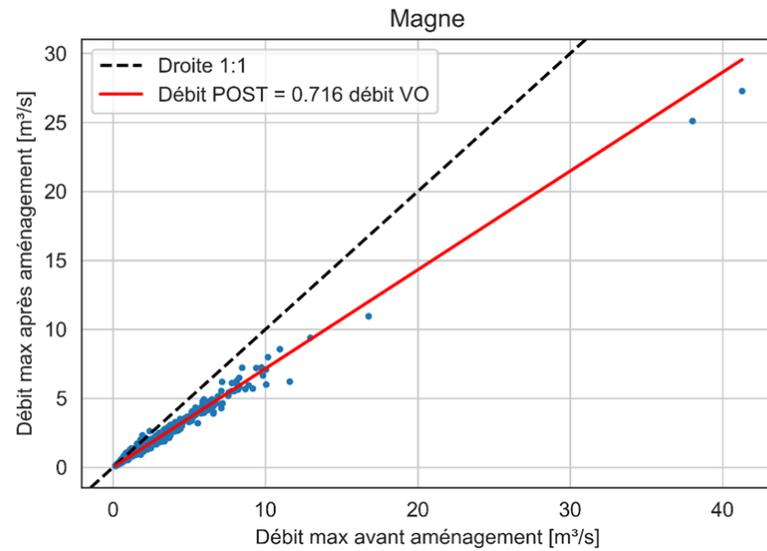


cipf

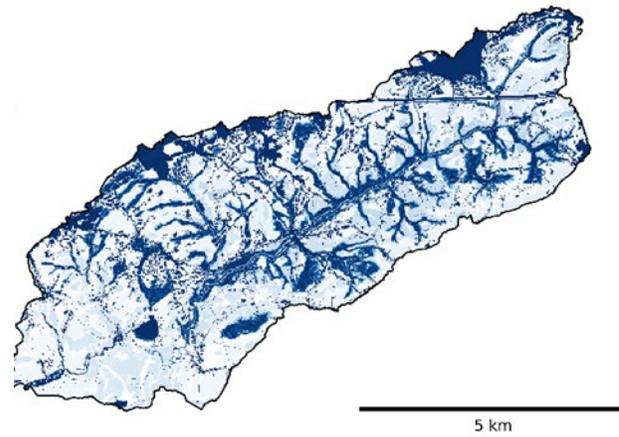
- ± 42 ha en TCS
- ± 86 ha de rouleau anti-érosif en maïs
- ± 700 km de barrières interparcellaires



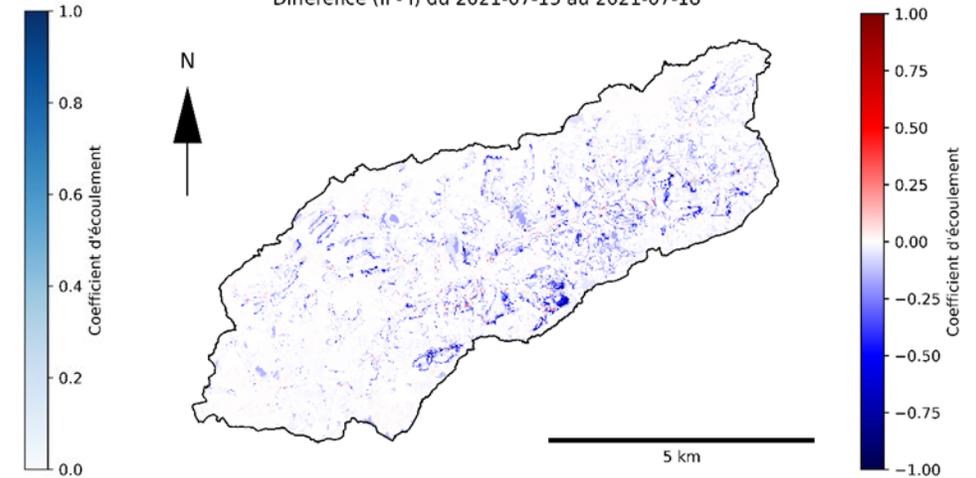
Efficacité hydrologique



Coefficient d'écoulements
Sans aménagement (-) 2021-07-13 au 2021-07-18



Coefficient d'écoulement
Différence (II - I) du 2021-07-13 au 2021-07-18





Efficacité par type d'aménagement

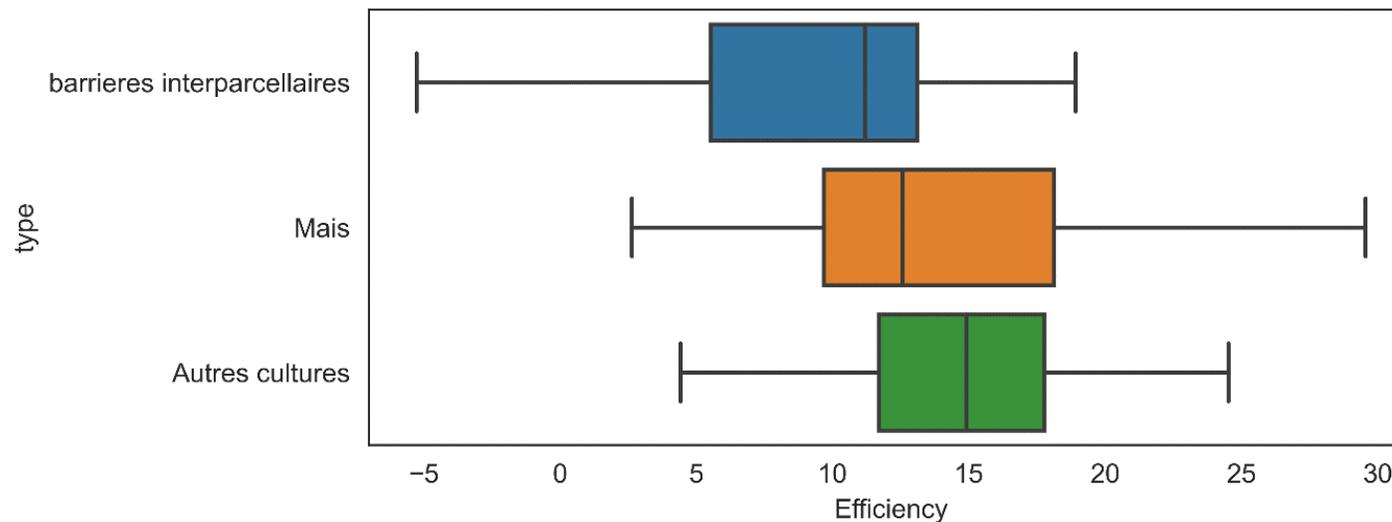


Figure 1 : Réduction du ruissellement (en %) selon la stratégie d'aménagement utilisée : restauration d'une trame bocagère en marge des parcelles agricoles (barrières interparcellaires), utilisation du rouleau anti-érosif sur cultures de maïs (Mais), adoption de techniques culturales simplifiées sur les autres cultures (Autres cultures).



Bilan hydrologique par type d'aménagement

Les barrières interparcellaires interceptent davantage de pluie et augmentent fortement l'évapotranspiration en été.
 Les stocks d'eau dans le sol sont localement diminués, ce qui permet d'y infiltrer les pluies intenses.
 La recharge hivernale est quasiment inchangée

Autres cultures	40	17	421	448	73	115	275	43	130	299	430	449
Mais	41	18	400	440	33	59	274	44	123	309	410	430
barrieres interparcellaires	70	32	416	480	261	339	391	53	50	263	387	418
Magne	61	28	373	427	210	265	358	51	51	243	363	391
Autres cultures	6	1	8	11	-7	-10	-4	-1	3	17	-1	-1
Mais	6	1	7	7	-4	-6	-6	-1	7	9	-2	-2
barrieres interparcellaires	26	4	-23	-8	-32	-29	173	16	-96	-71	-15	-11
Magne	7	1	-2	3	-20	-20	38	3	-20	-8	-5	-3
	Interception - été	Interception - hiver	Infiltration - été	Infiltration - hiver	Résurgence - été	Résurgence - hiver	Evapotranspiration - été	Evapotranspiration - hiver	Recharge - été	Recharge - hiver	Stock sol - été	Stock sol - hiver

Figure 1 : Valeur (VO : en haut) et différence (POST – VO : en bas) absolue moyenne sur 19 ans des flux et stocks d'eau exprimés en mm par semestre hydrologique (été - hiver) en fonction des différents aménagements et sur l'ensemble du bassin versant de la Magne.



Evolution des chroniques hydrologiques

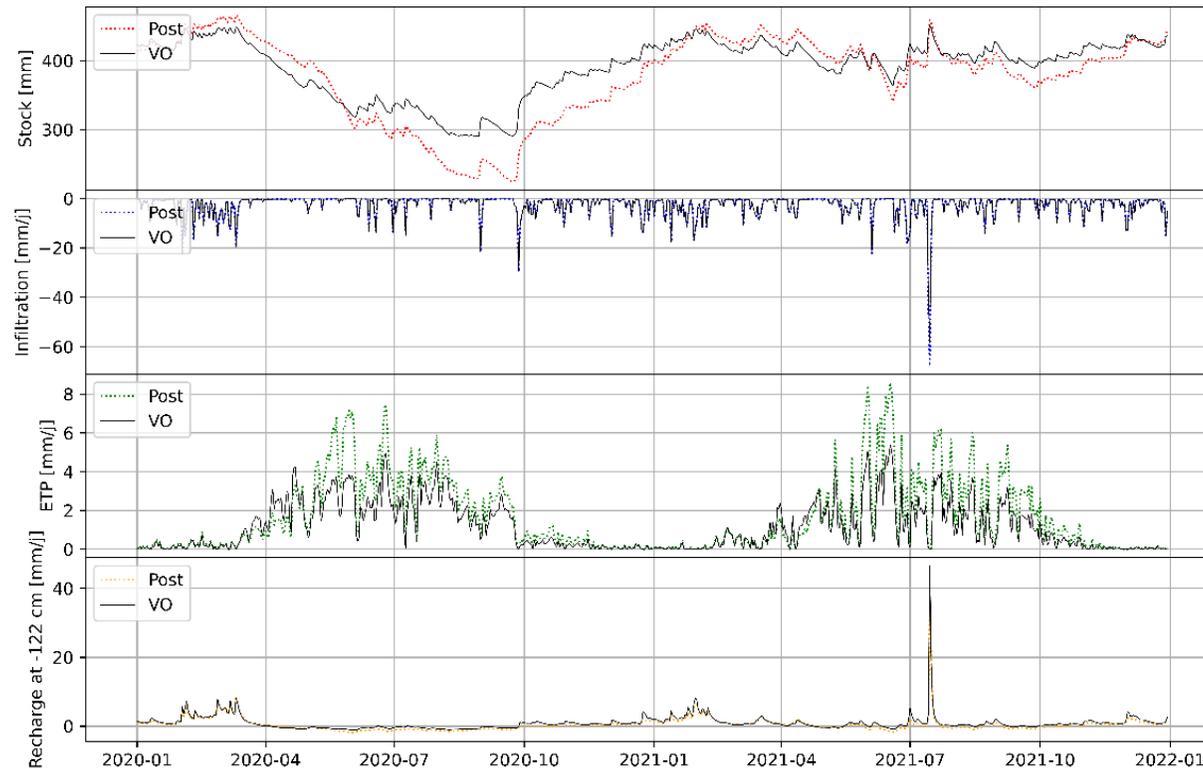


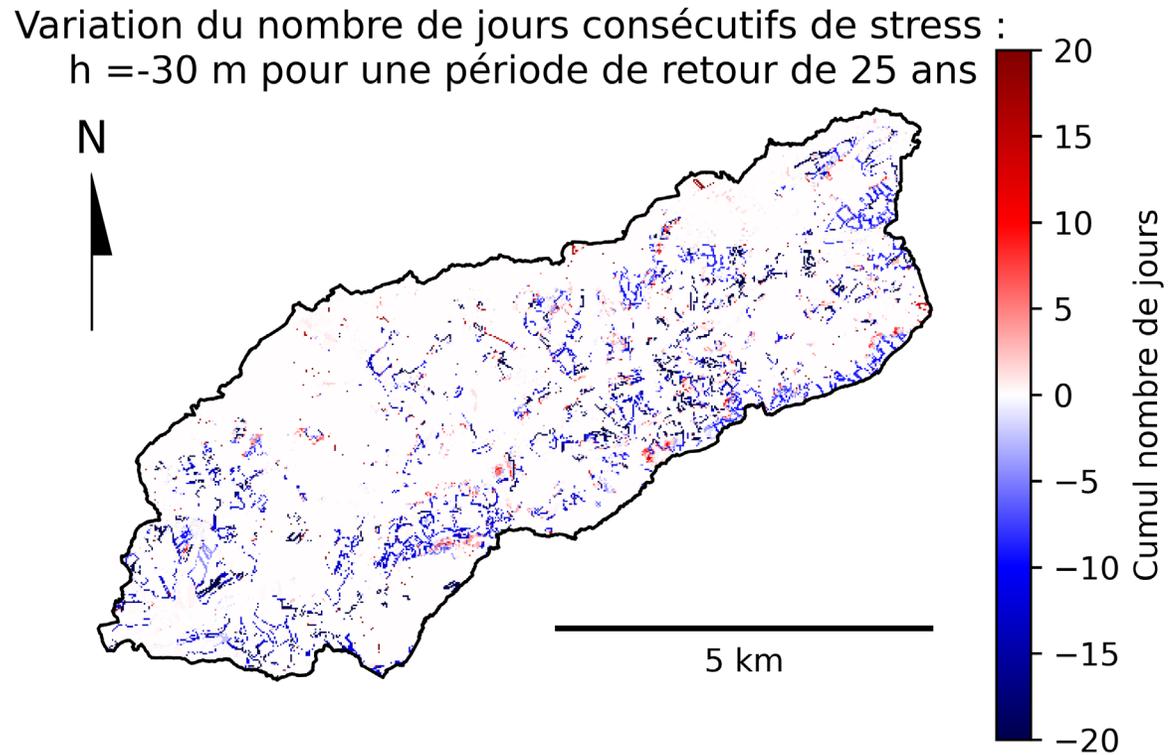
Figure 1 : Bilan moyen des zones concernées par les aménagements barrières interparcellaires : moyenne des stocks d'eau dans les 120 premiers centimètres du sol, de l'infiltration, de l'évapotranspiration et de la recharge à 120 centimètres entre 2020 et 2022.



Impact des mesures sur la sécheresse

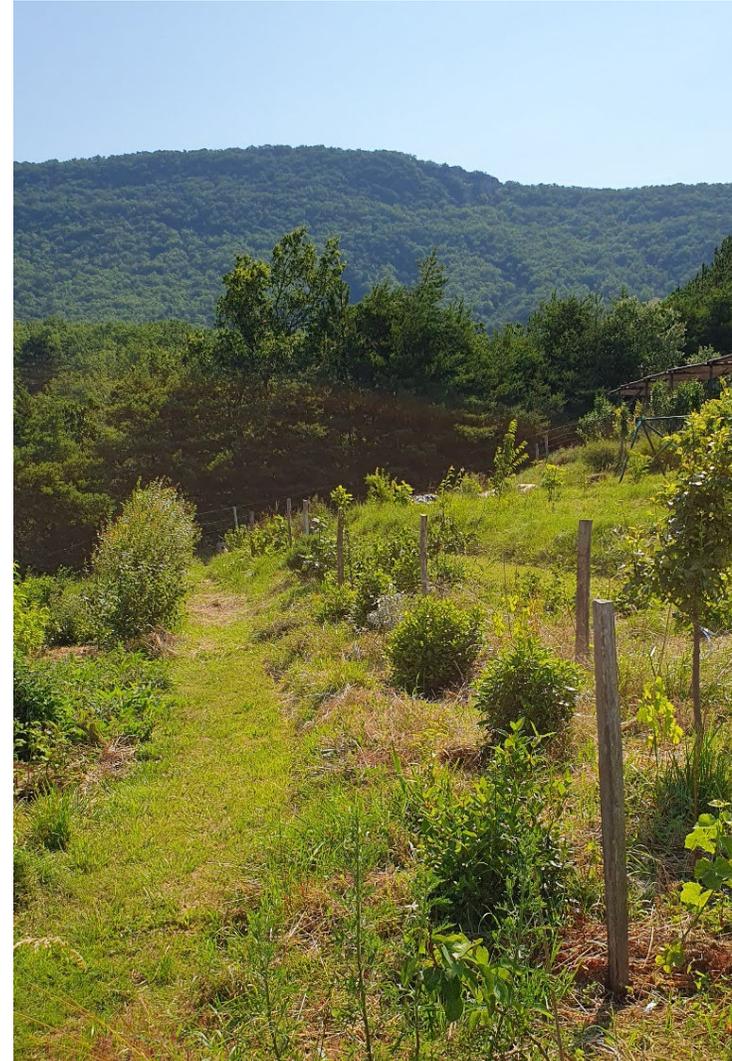
Large dominance d'une diminution du nombre de jours de sécheresse

-> no regret





Vers un paysage hydrologiquement optimisé ?

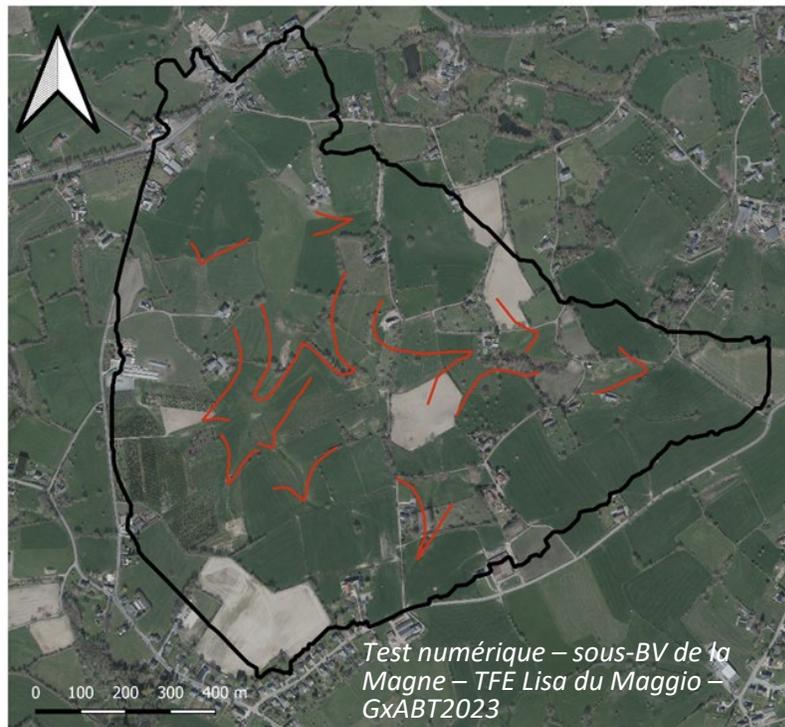


*Illustrations Drome
– Biovallée –
hydrologie
régénérative*



Principes de Keyline design

- ▶ Collecter l'eau dans les thalwegs,
- ▶ Redistribuer l'eau dans le paysage
- ▶ Maximiser l'infiltration
- ▶ Activer la pompe hydrologique par des plantations de haies



Légende
■ Bassin versant
— keylines
Orthophotoplan 2021



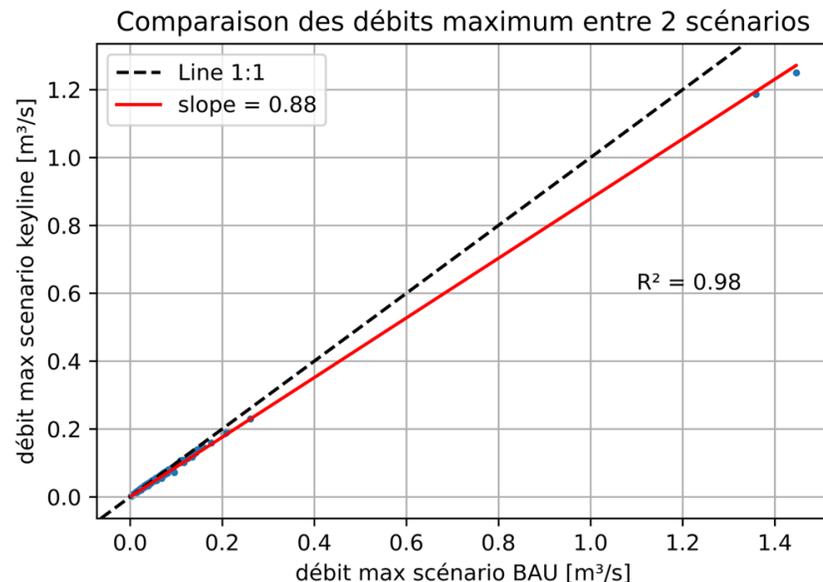
Ponce-Rodríguez et al., 2021





Efficacité hydrologique

- En **contexte agricole sur sols drainants**, les keylines peuvent **répartir l'eau** vers des zones naturellement **drainantes** où elle peut être **réinfiltrée** et contribuer à une **réduction** importante **du ruissellement**.
 - Diminution de 12 à 14 % du débit max à l'exutoire
- Les **keylines** peuvent constituer une **trame bocagère hydrologiquement optimisée**. Leur efficacité s'ajoute à celle des autres mesures
- En **contexte hydromorphe**, les **sols** sont souvent **engorgés** et les **keylines** sont **seulement efficaces** lors d'une précipitation **unique** suivant une **période sèche** (orage d'été).



Figuur 9. Contourboslandbouw als corridor en visueel aantrekkingspunt in het complexe natuur-, landbouw- en beleevingslandschap te Heuvelland (2020).

En zone d'habitat



- ▶ En juillet 21, les **15% de surfaces imperméabilisées** de la Magne ont contribué à **25% de la production totale de ruissellement**
- ▶ La première priorité pour un BV résilient est **l'arrêt de l'imperméabilisation**
- ▶ En ville
 - **Désimperméabiliser**
 - Faire appel aux solutions inspirées par la nature pour le stockage, l'infiltration et l'évaporation

 **SOILveR** Soil and land research funding platform for Europe

LA DÉSIMPÉRMÉABILISATION DES SOLS, POUR UN
RETOUR DE LA NATURE EN MILIEU URBAIN...



Jardin de pluie GxABT



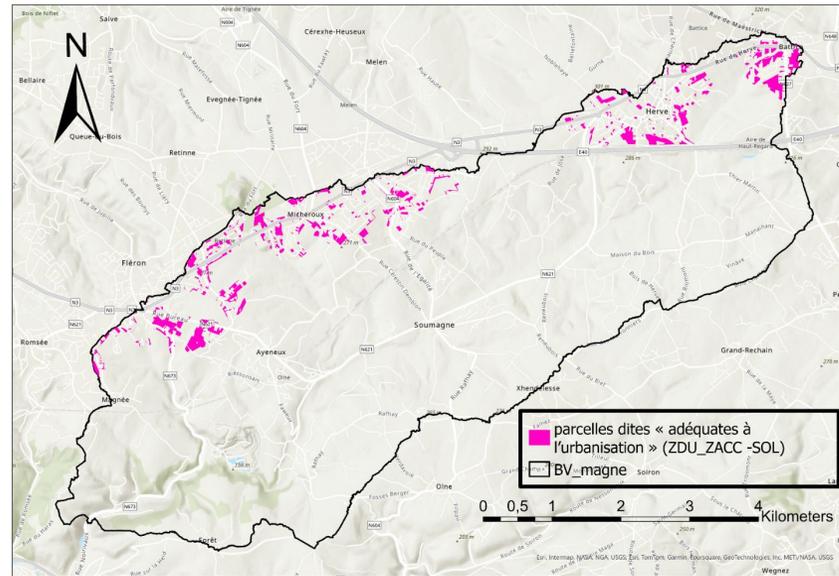
ACTU
ENVIRONNEMENT
.com

Quadu F, Bâlon P., Limasset E., Malherbe A., 2021, La désimperméabilisation des sols, pour un retour de la nature en milieu urbain...

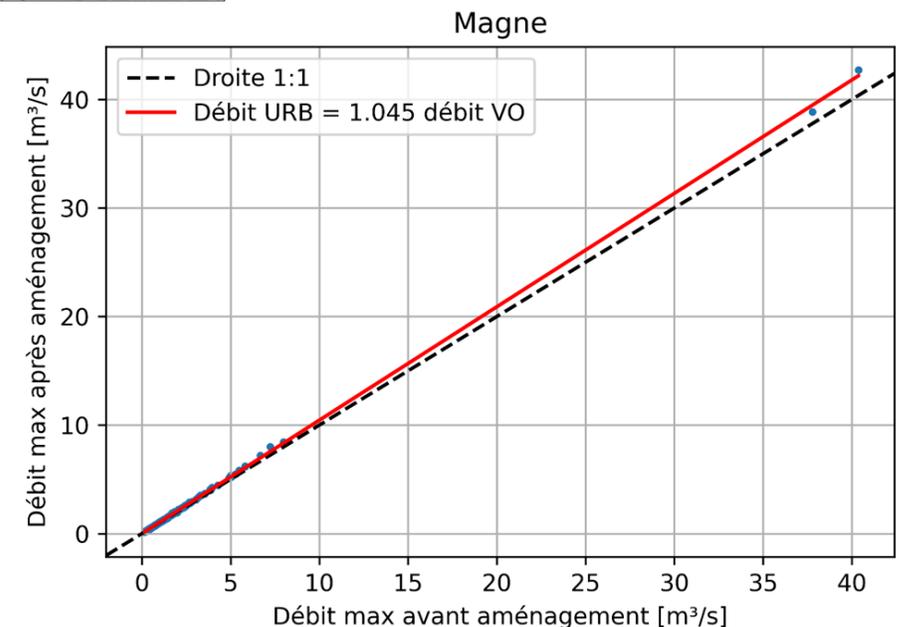
Scénario SSV d'extension potentielle du bâti sur la Magne



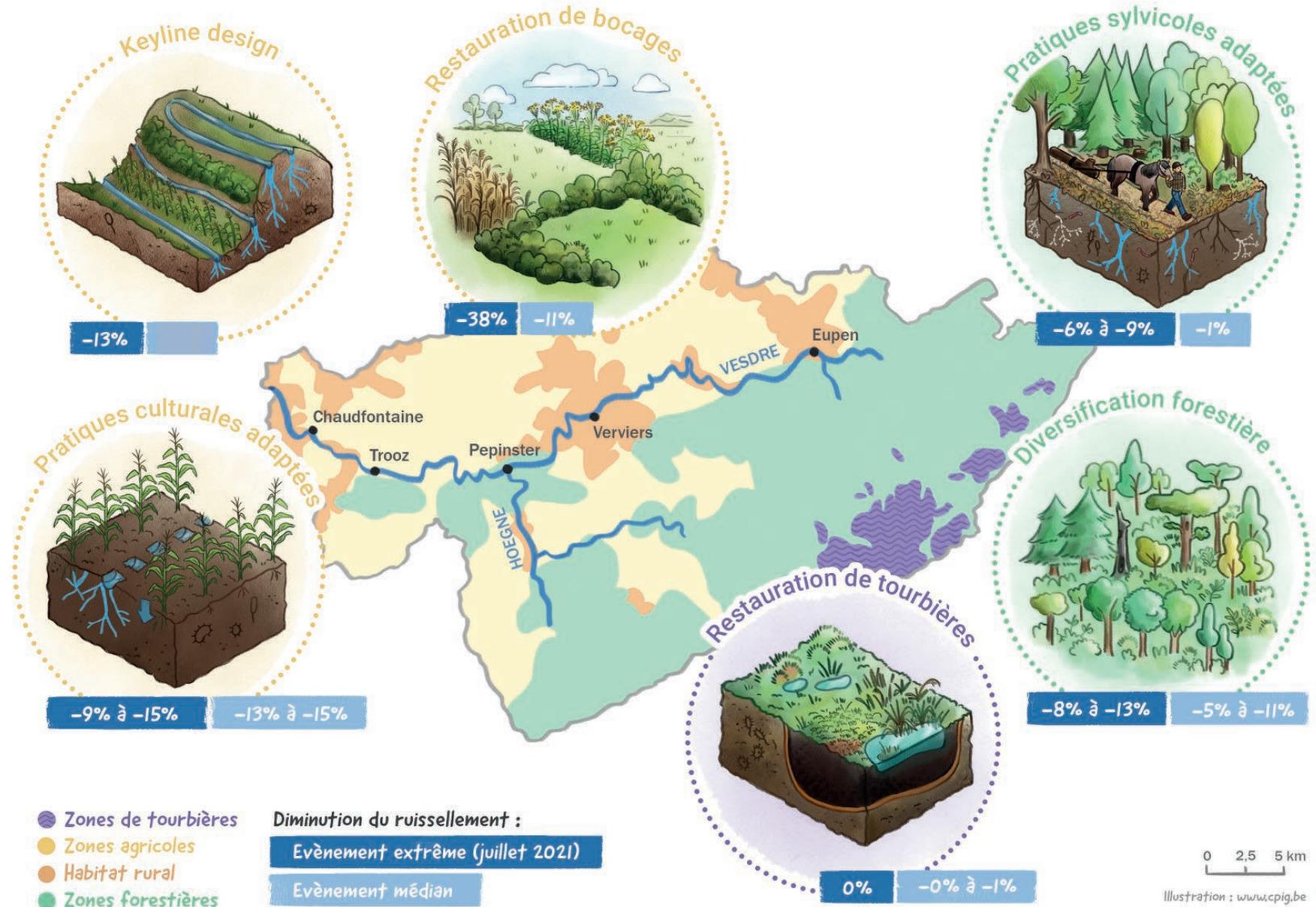
- ▶ Urbanisation des parcelles dites « adéquates à l'urbanisation » dans le SSV
- ▶ 2,4% de la surface du BV
- ▶ On a considéré une imperméabilisation de 70% de ces surfaces (arbitrairement)



Si les zones dites « adéquates à l'urbanisation » sont effectivement construites, le débit de pointe moyen à l'exutoire de la Magne augmentera de 5%



Infiltration : L'action dépend du contexte





► Confronter les résultats du modèle

- Technico-scientifique

- › Besoin de mesures terrain : humidité du sol, piézomètre, ...
- › Croiser les sources d'analyse de la dynamique hydrologique
 - Télédétection de l'activité de la végétation (e.g. stress hydrique)

- Avec les acteurs :

- › Evaluer la pertinence des scénarios proposés
 - Acceptabilité / rentabilité / faisabilité
- › Promouvoir
 - Réseau de démonstrateurs, communication, ...

Contacts :

Aurore Degré

aurore.degre@uliege.be

Adrien Michez

adrien.michez@uliege.be