



HAL
open science

Schéma directeur de gestion des eaux pluviales de la Communauté urbaine du Grand Reims

Paul Pister

► **To cite this version:**

Paul Pister. Schéma directeur de gestion des eaux pluviales de la Communauté urbaine du Grand Reims. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2020. dumas-03578325

HAL Id: dumas-03578325

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03578325v1>

Submitted on 17 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PLAN PLUIE DU GRAND REIMS

Intégrer la pluie, ressourcer le territoire



Mémoire de fin d'études

Schéma directeur de gestion des
eaux pluviales de la Communauté
Urbaine du Grand Reims

Paul PISTER

Promotion Bretagne 2017-2020

Validation du Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES
Stage réalisé du 13 Janvier au 28 Aout 2020

REMERCIEMENTS

Après 6 mois de stage de fin d'étude, je souhaite, tout d'abord, adresser un immense remerciement à Guillaume BRAJOT qui m'a accompagné dans la découverte du métier de l'ingénieur. Guillaume, tu m'as apporté beaucoup de rigueur et de méthode dans mon travail. Merci, pour tes explications sur Qgis que j'ai énormément utilisé pendant 6 mois.

Je remercie la société ARTELIA de m'avoir permis de réaliser mon stage et ma première expérience dans le monde de l'ingénierie dans une grande entreprise.

Merci à toutes les personnes de l'agence de Strasbourg, et plus particulièrement à tous les membres du pôle ADT, pour votre accueil et votre disponibilité.

Je remercie l'ENGEES pour m'avoir formé au métier d'ingénieur hydraulicien. Merci à Adrien WANKO, mon tuteur au sein de l'école, qui m'a suivi pendant toute la durée de mon stage.

Merci à mes camarades de promotion pour les bons moments passés durant ces 3 ans d'école.

Merci à mes colocataires, Corentin et Kerine, pour le soutien quand je rentrais du boulot.

Pour finir, un grand merci à ma famille pour m'avoir soutenu dans mes études dans les bons et les mauvais moments.

RESUME FRANÇAIS

La Communauté Urbaine du Grand Reims souhaite changer ses pratiques de gestion des eaux pluviales pour s'inscrire dans un territoire Eau-responsable. Les objectifs de gestion doivent être intégrés, partagés, résilients et au service de la population. Dans ce cadre, les problématiques de ruissèlement, de zonage, de qualité des masses d'eau ainsi que de l'infiltration sont des enjeux majeurs à l'échelle du territoire. L'étude suivante vise à déterminer la perméabilité du territoire pour répondre aux objectifs de la collectivité.

La perméabilité est mesurable très localement pour dimensionner des ouvrages. Une technique en surface et en profondeur sont retenues pour caractériser l'infiltration suivant le projet souhaité. Les estimations sont utilisées pour une détermination plus globale de l'infiltration et couvre qu'un seul paramètre de perméabilité à la fois.

Afin d'obtenir un outil d'aide à la décision complet, l'utilisation d'une méthode à scores permet d'associer ces différents paramètres pour fournir une vision globale de l'infiltration, définie ici suivant la capacité de circulation de l'eau du sol, la capacité de rétention du sol, les pressions polluantes et la faisabilité des ouvrages. Les résultats obtenus sont des tendances relatives d'infiltrations associées aux aléas naturels et aux pressions polluantes.

Les informations finalement permettent d'apporter une réponse aux objectifs de la collectivité. Elles peuvent à la fois servir au dimensionnement d'ouvrages mais aussi de participer à l'orientation des politiques publiques de gestion de l'eau sur le territoire de la CUGR.

Nombre de mots : 232

RÉSUMÉ ANGLAIS

The Urban Community of Grand Reims wishes to change the rainwater management to become part of a responsible Water territory. Objectives must be integrated, shared, resilient and at the service of the population. In this context, the problems of runoff, zoning, water quality and infiltration are major issues on the territorial scale. The following study aims to determine the permeability of the territory in order to meet the objectives.

Permeability can be measured in a local way to size structures. A surface and depth measurement technics are used to determine the infiltration according to the desired project. Estimations are used for a more global determination of infiltration and cover only one permeability parameter at a time.

In order to obtain a complete decision support tool, the use of a scoring method makes it possible to associate these different parameters to provide a global and relative vision of the infiltration. Infiltration is defined according to the soil's water circulation capacity, soil retention capacity, pollutant pressures and the feasibility of the structures. Results are a relative infiltration trends associated with natural hazards and pollutant pressures.

Infiltration trend works for a large area. The information is in agreement with the objectives for a Water-Responsible territory. Data define the sizing of integrated, shared, resilient and population-serving structures.

SOMMAIRE

1. La gestion des eaux pluviales	7	3.1 Les cartes à scores	30
1.1 Un projet à grande échelle	8	3.2 La capacité de circulation de l'eau	32
1.2 Le Plan Pluie	9	3.2.1 La composition des sols	33
1.2.1 L'objectif d'une gestion partagée :	9	3.2.2 L'IDPR	34
1.2.2 L'objectif d'une gestion au service de la population :	9	3.2.3 La zone non-saturée	34
1.2.3 L'objectif d'une gestion résiliente :	10	3.2.4 La carte des résultats de la capacité de circulation de l'eau	35
1.2.4 L'objectif d'une gestion intégrée :	10	3.3 La capacité de rétention du sol	36
2. L'enjeu de l'infiltration	12	3.3.1 Construction de l'indicateur	36
2.1 Comment définir l'infiltration ?	13	3.3.2 La carte des résultats de la capacité de rétention du sol	37
2.1.1 La détermination de l'infiltration	13	3.4 Les pressions polluantes	38
2.1.2 La perméabilité	14	3.4.1 L'occupation des sols	38
2.2 Les facteurs de la perméabilité intrinsèque	14	3.4.2 Les pollutions agricoles	39
2.2.1 L'horizon des sols	14	3.4.3 L'évaluation des pressions polluantes	40
2.2.2 Structure des sous-sols	14	3.4.4 La cartes des résultats des pressions polluantes	41
2.2.3 La battance	15	3.5 La faisabilité	41
2.2.4 Le colmatage	15	3.5.1 Les pentes fortes	42
2.2.5 La teneur en eau du sol	16	3.5.2 Les cavités	42
2.3 La mesure de la perméabilité	17	3.5.3 Les remontées de nappes	43
2.3.1 Essais par sondage	17	3.5.4 L'aléa retrait-gonflement des argiles	43
2.3.2 Essais en surface	19	3.5.5 Les pollutions ponctuelles	43
2.3.3 Les limites liées aux mesures	22	3.5.6 La carte des résultats de la faisabilité	43
2.4 Les Estimations	23	3.6 Cas particulier de la construction de la ZNS	46
2.4.1 Les cartes du BRGM	23	3.6.1 Disposition des nappes	46
2.4.2 Les données à l'échelle de l'Europe	26	4. Analyse des résultats et perspectives	52
2.5 Le choix du modèle Erreur ! Signet non défini.		4.1 L'application d'un cas concret	53
3. Caractérisation de la méthode Erreur ! Signet non défini.		4.2 Les réponses pour la gestion des eaux pluviales	56
		4.3 Conclusion	57

5. Bibliographie	58
6. Annexes	59
6.1 Fiabilité de la donnée à l'échelle de l'Europe	60
6.2 Compte rendu du rapport des Aires d'Alimentation de Captages (AAC).	61
6.2.1 Les produits chimiques dans les masses d'eau	61
6.2.2 Les pollutions organiques	62
6.3 Emprise des aléas de l'infiltration	63
6.4 Valeurs pour le calage de la ZNS	65
6.5 Saut de nappes visible sur la ZNS	66

SIGLES ET ABREVIATIONS

CUGR : Communauté Urbaine du Grand Reims

IDPR : Indice de Persistance et de Développement des Réseaux

ZNS : Zone Non-Saturée

IFT : Indice de Fréquence de Traitement

AWC : Available Water Capacity

1. La gestion des eaux pluviales

1.1 Un projet à grande échelle

Depuis plus de 150 ans la réponse traditionnelle de gestion des eaux pluviales en France consiste à les évacuer le plus rapidement possible des villes en utilisant des infrastructures lourdes (canalisations, bassins, ...) qui, très souvent, recueillent également les eaux usées. Ce mode de gestion, extrêmement coûteux, occasionne également de multiples dysfonctionnements : débordements des réseaux, inondations, rejets urbains, accélération de l'érosion des sols, vulnérabilité des ressources, ... Autant de signaux qui témoignent des difficultés de la gestion de l'eau : multiplicité des acteurs, foisonnement des solutions techniques, diversité des financements, ... Cette complexité est doublée de nouveaux enjeux, associés aux changements climatiques, mais aussi à des évolutions de gouvernance et une prise de conscience des populations, qui imposent une vision plus globale et mieux intégrée de l'eau dans et autour de la ville.

La Communauté Urbaine du Grand Reims, à travers le schéma directeur de gestion des eaux pluviales (ou Plan Pluie) appliqué à tout son territoire, souhaite transiter vers le statut de territoire Eau-Responsable. Cette nouvelle vision de la ville entraîne des changements de la gestion « classique » des eaux passant par une structuration conçue autour de la gestion des eaux de pluie urbaine.



La Communauté Urbaine du Grand Reims se situe dans le département de la Marne. La population totale sur le territoire est de 300 000 habitants ce qui représente la moitié de la population du département. Composée de 143 communes, la CUGR est la communauté urbaine la plus grande en terme de nombre de commune en France. La surface couverte est de 1500 km² soit 20% du département.

La CUGR, par ses proportions, est un territoire riche de diversités. L'activité viticole fait la renommée du Grand Reims pour la fabrication de champagne, classée au patrimoine mondiale de l'UNESCO. C'est également un territoire de contrastes entre des paysages ruraux et une grande agglomération qu'est la ville de Reims. Sans oublier les espaces naturels, avec la présence du Parc Naturel Régional de la Montagne de Reims.

La volonté de la Communauté Urbaine de transformer sa gestion de l'eau pluviale passe par des objectifs précis tendant à coordonner tout un territoire tout en replaçant la thématique au sein du cycle continental de l'eau. Le Grand Reims souhaite se doter d'outils et de moyens pour l'aider dans ses démarches pour intégrer la pluie et ressourcer le territoire.

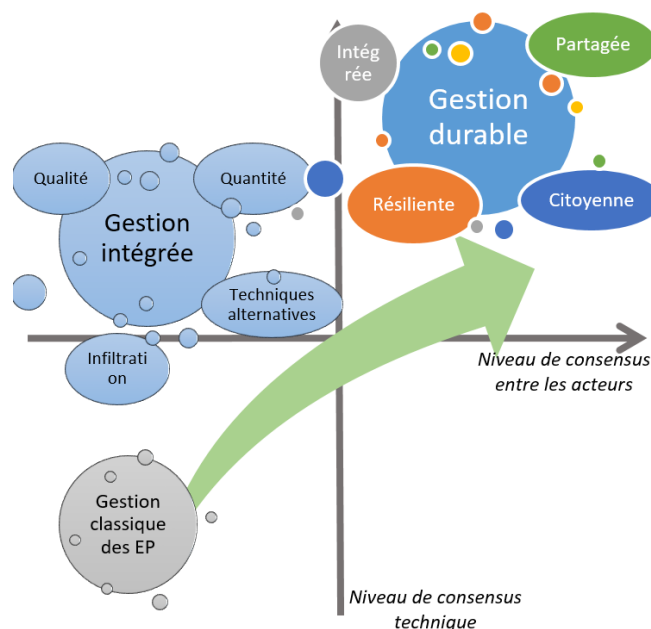
1.2 Le Plan Pluie

Le Plan Pluie du Grand Reims est construit autour d'objectifs précis permettant de faire du projet une véritable démarche novatrice, inter-services et constructive d'un véritable projet de territoire.

1.2.1 L'objectif d'une gestion partagée

Transiter d'une gestion « tout tuyau » vers une gestion durable et « Eau-responsable » passe par une concertation entre tous les acteurs du Grand Reims. Les principaux acteurs concernés sont : les élus communaux, les gestionnaires de réseaux (routiers, canalisations, ...) par la collecte des eaux pluviales sur leurs parcelles imperméables et des emprises des associations, des organismes de protection ainsi que des particuliers.

FIGURE 1 GRAPHIQUE DE CHOIX DE LA GESTION EN FONCTION DU CONSENSU DES ACTEURS



La représentation des niveaux de gestion des eaux pluviales est fonction des discussions des enjeux avec les acteurs et des techniques envisagées. La gestion « classique » limite les possibilités en terme de technique sans aucune concertation avec les acteurs limitant l'aspect des sciences sociales et humaines indispensable pour ce projet. Pour viser une gestion durable, l'acceptabilité doit être le fruit des concertations auprès des différents acteurs. Une solution concertée et comprise sera plus facilement appliquée par tous les acteurs sur le long terme. La gestion doit être portée pour favoriser l'adhésion et la participation des acteurs autour d'une démarche durable, co-construite et partagée.

1.2.2 L'objectif d'une gestion au service de la population

La collectivité souhaite mettre en place des outils innovants et performants pour décider d'une stratégie générale, traduite dans des documents d'application concrets (zonages, PLUi, ...). Il s'agit également de proposer à la population des outils opérationnels complets, leurs permettant de bénéficier d'une information simple de qualité et de dimensionner, sans connaissances techniques préalables, leurs projets, y compris, et surtout, à très petite échelle. Ces outils d'information et d'aide à la recherche de solutions doivent être gratuits pour tout le territoire.

L'outil PARAPLUIE a été spécialement développé pour proposer aux citoyens d'un territoire un outil de gestion à la parcelle, utilisable sans connaissance préalable. Il est particulièrement destiné aux constructeurs,

architectes, promoteurs, lotisseurs, paysagistes, voire aux simples particuliers et remplit deux fonctions complémentaires :

- Aider les utilisateurs à choisir la solution qui est la mieux adaptée à la fois à la réglementation locale, au contexte et à leurs souhaits
- Permettre aux utilisateurs de dimensionner cette solution de façon optimale.

PARAPLUIE c'est aussi un outil pédagogique, adossé aux fonctions techniques, proposant toutes les clefs de compréhension nécessaire à l'élaboration d'un projet. Il a pour objectif d'accompagner tous les aménagements de moins de un Ha, en conformité avec le Plan Pluie, et plus particulièrement le zonage et la note de doctrine. PARAPLUIE doit pouvoir permettre, sur la base des informations fournies à l'échelle du Grand Reims, dimensionner un projet pour permettre l'obtention du permis de construire.

1.2.3 L'objectif d'une gestion résiliente¹

Lorsqu'il s'agit de gérer des eaux pluviales de manière durable, le défi d'un programme résilient est peut-être celui le plus complexe à mettre en œuvre. En effet, les milieux aquatiques même lorsqu'ils sont inclus dans les écosystèmes dits urbains, gèrent de nombreuses fonctionnalités et contrecarrent une grande partie des externalités négatives liées au changement climatique :

- Lutte contre les îlots de chaleur urbains
- Lutte contre l'érosion des sols
- Protection des ressources en eau
- Diminution de la vulnérabilité face aux différents aléas
-

Se placer à la croisée de ces éléments multiples pour satisfaire le besoin d'un gouvernance résiliente à la fois ancrée dans son temps et capable de se projeter vers l'avenir, consititue plus qu'un simple défi technique. Il faut non seulement pouvoir intégrer les nombreuses études réalisées par les experts du climat mais également concevoir des outils d'aide à la décision capable de s'adapter à des changements par nature inconnus à ce jour.

Une gestion résiliente de l'eau pluviale à l'échelle d'un territoire passe par un impératif absolu : organiser les actions et les études en intégrant très tôt la possibilité de produire des scénarii alternatifs. Les études, les calculs et les éléments descriptifs doivent anticiper, dès leur construction, la possibilité de faire varier un paramètre (ou plusieurs) pour en déduire un état alternatif en cas de changements climatiques.

1.2.4 L'objectif d'une gestion intégrée

Réussir la mise en place d'une démarche intégrée suppose la capacité de travailler à toutes les échelles, celle du territoire de 1500 km², des bassins versant mais aussi des projets tout en dépassant les antagonismes classiques et en faisant naître une synergie et une cohérence inter-échelles géographiques. Cette synergie aux différentes échelles du territoire se traduit :

- Par la mise au service du Grand Reims des outils les plus performants en matière de gestion de projet pour faciliter les concertations, fluidifier les échanges et faire naître des synergies à tous les niveaux.

¹ Résilience : Capacité d'un système à absorber un changement perturbant et à se réorganiser en intégrant ce changement, tout en conservant essentiellement la même fonction, la même structure, la même identité et les mêmes capacités de réaction

- Par la prise en compte de toutes les thématiques techniques intervenant dans la gestion des eaux pluviales.

Ces thématiques sont réparties suivant les thèmes du ruissellement, de reconquête de la qualité des masses d'eau et de l'infiltration.

L'intégration de ces paramètres doit proposer une précision identique à un projet de plusieurs hectares comme un projet de quelques centaines de mètres carrés. Tous les niveaux des acteurs (maires, habitants, promoteurs, ...) n'ont pas les mêmes restrictions mais ont besoins d'outils les accompagnants jusqu'au bout des démarches.

Intégrer la pluie, c'est aussi confondre les usages. La gestion des eaux pluviales peut ainsi être associée avec la réduction des ilots de chaleurs urbains, la reconquête de la qualité des masses d'eau, des usages publics (parc), ... Dans l'objectif de caractériser les ouvrages comme des outils multifonctionnels, de nombreux paramètres sont à prendre en compte comme :

- Le ruissellement intense et régulier
- Le zonage découpant le territoire à l'échelle
- La préservation de la qualité des masse d'eau
- L'infiltration comme mode de gestion principal.

Le présent rapport traite plus spécifiquement de la conception de l'outil d'aide à la décision partout sur la thématique « gestion au plus près », c'est-à-dire la notion de ruissellement. Il s'agit ici :

- De donner une définition de l'infiltration telle qu'elle est comprise dans le Plan Pluie, et exigée par la collectivité.
- D'établir un état de l'art démontrant en quoi les approches classiques ne permettent pas de satisfaire les demandes associées au Plan Pluie.
- De concevoir un outil d'aide à la décision conforme aux attentes de la CUGR et d'en discuter les résultats.

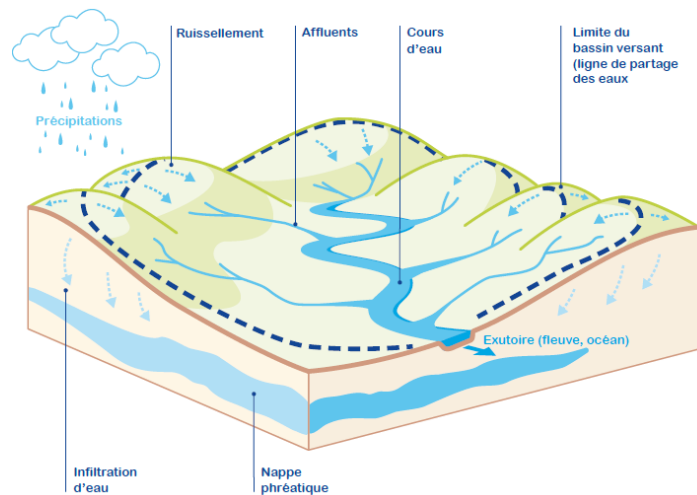
2. L'enjeu de l'infiltration

2.1 Comment définir l'infiltration ?

L'infiltration est un processus naturel désignant la pénétration de l'eau dans le sol ou au travers d'une surface. Dans le cycle de l'eau, elle désigne l'état de transition entre les eaux pluviales et le sol. Ce phénomène peut être plus ou moins lent en fonction de la localisation et permet de constituer des réserves d'eau pour les plantes ou de recharger les nappes phréatiques. Cette réserve contribue au maintien des milieux naturels aquatiques (sources, alimentation de cours d'eau par la nappe, ...) et à l'utilisation humaine pour la consommation et l'agriculture. La recharge de la nappe par l'infiltration est un processus lent qui demande de bonne condition pour pouvoir être efficace. Avec l'urbanisation, les surfaces perméables sont réduites limitant l'infiltration dans ces zones. Ces surfaces sont aussi source de forte chaleur créant ainsi des différences de températures importantes au sein des agglomérations denses. L'apport en eau dans les sols permet de réguler cet effet de chaleur et réduit l'effet d'îlot de chaleur urbain.

FIGURE 2 PRINCIPE DE L'INFILTRATION

LE BASSIN VERSANT



2.1.1 La détermination de l'infiltration

Le mot infiltration est souvent réduit à celui de la perméabilité par exemple calculée avec la loi de Darcy. Cette loi permet de fournir le débit d'eau circulant à travers le sol en fonction de sa perméabilité intrinsèque et de son gradient hydraulique (sens d'écoulement de l'eau). La variable de l'équation, la perméabilité, dépend de plusieurs facteurs physiques donnant des indications sur la capacité de l'eau à s'infiltrer dans le sol. Une bonne connaissance du débit infiltré est un atout à la mise en place de solutions dites « alternatives ».

Afin de pouvoir placer au mieux et dimensionner ces techniques d'infiltration, les facteurs physiques importants pour la recherche de solution et pour le dimensionnement sont à prendre en compte. Deux phases sont à distinguer pour la réalisation d'un ouvrage d'infiltration :

- La phase d'étude de la zone optimale d'un projet pour réaliser l'infiltration. Trouver l'emplacement d'un ouvrage est compliqué sans une bonne connaissance du terrain ce qui permet également de limiter au maximum les coûts d'investissement pour le projet.
- La phase de dimensionnement venant compléter la phase précédente par le choix définitif du type d'ouvrage et surtout définir ses dimensions pour infiltrer la quantité d'eau de pluie souhaitée.

La détermination des facteurs importants pour le territoire de la CUGR ne représente pas tous les enjeux de la perméabilité mais les plus pertinents pour la mise en place d'une gestion des pluies intégrée, résiliente et au service de la population.

2.1.2 La perméabilité

La perméabilité, ou conduction hydraulique, d'un sol est la capacité du sol à laisser passer l'eau. Elle décrit la vitesse d'infiltration ou d'écoulement de l'eau dans le sol. Elle est la variable reliée à la loi de Darcy. C'est principalement entre la surface et la nappe que la perméabilité influe sur l'infiltration. Notée couramment K ou K_s , la perméabilité est dépendante des facteurs :

$$K = \frac{k\rho g}{\mu}$$

Avec :

- k : la perméabilité intrinsèque du milieu poreux (m^2)
- ρ : la masse volumique du fluide (kg/m^3)
- g : l'accélération de la pesanteur (m/s^2)
- μ : la viscosité dynamique du fluide ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)

Le fluide (l'eau) et la pesanteur sont des paramètres invariables dans le cadre de la gestion des eaux de pluie. La perméabilité intrinsèque, quant à elle, représente la résistance à l'écoulement de l'eau liée aux propriétés du sol. La perméabilité est alors fonction des propriétés du sol et des phénomènes amenés à changer ces propriétés. Cette capacité de changement du paramètre k rend la mesure d'une perméabilité complexe.

2.2 Les facteurs de la perméabilité intrinsèque

Les facteurs suivants sont une liste non-exhaustive des facteurs influents la perméabilité. Ils correspondent aux enjeux rencontrés pour la gestion des eaux pluviales de la CUGR.

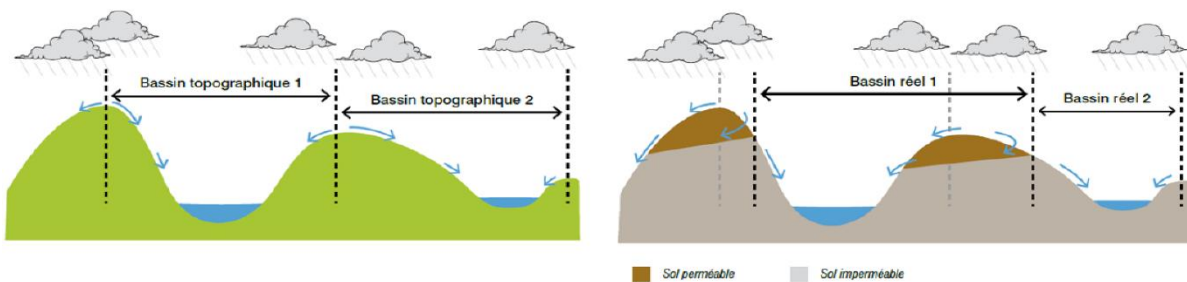
2.2.1 L'horizon des sols

La composition du sol donne une bonne indication sur le comportement de l'infiltration pour les premiers centimètres de sol aussi appelés horizon du sol. La conductivité hydraulique étant dépendante de la porosité du sol, le sol peut être catégorisé de plus ou moins perméable par la composition granulométrique d'argile, de limon ou de sable. La proportion des 3 éléments détermine l'espace permettant à l'eau de circuler pour atteindre des horizons plus profonds. Plus la proportion d'argile est importante, moins le sol sera perméable. La perméabilité de l'horizon du sol peut donc être estimée de manière simple.

2.2.2 Structure des sous-sols

Sous la couche d'horizon du sol se situe la roche mère. La circulation de l'eau se fait également par la porosité du substrat suivant la géologie. Au même titre que l'horizon du sol, la couche géologique peut se voir affecter une valeur de porosité en fonction de la composition. Cependant, il existe des roches pouvant avoir des porosités très variables sur une même couche géologique. C'est le cas des sols dit karstiques présents sur le Grand Reims. Ces sols sont composés de roche soluble comme le calcaire de la craie ayant une porosité de base très faible et, lorsqu'une altération avec l'eau crée des failles (ou karst), une porosité très forte. Les karsts peuvent s'agrandir au point de créer des rivières souterraines changeant complètement l'écoulement de l'eau dans le sous-sol.

FIGURE 3 VARIATION DE L'INFILTRATION SUR UN SOL KARSTIQUE



Un sol karstique est composé de 3 parties différentes :

- L'épikarst, correspondant à la partie la plus proche de la surface où l'infiltration se fait dans un premier temps
- La zone non-saturée où l'eau transite entre l'épikarst et la zone saturée
- La zone saturée contenant les eaux souterraines.

La vitesse d'écoulement de l'eau dans le sol dépend de la taille du réseau karstique. Plus le réseau est développé plus la vitesse est importante. L'infiltration est très lente dans les zones où il n'y a pas de fissure.

Sur le Grand Reims deux enjeux géologiques importants peuvent créer des problèmes pour l'infiltration si des précautions ne sont pas prises. Le retrait et gonflement d'argile provoque des mouvements de terrain si l'infiltration est trop concentrée aux abords des bâtiments. La présence de cavités (en milieu karstique) augmente fortement la perméabilité des zones et entraîne des inondations de cave qui sont à éviter à proximité des caves de champagne. Une augmentation des surfaces d'infiltrations permet souvent de limiter le phénomène.

2.2.3 La battance

La battance est un paramètre du sol visant à désigner la formation d'une croûte imperméable au niveau des premiers centimètres de sols. Elle peut se produire par passage répété sur une surface ou lors de l'impact des gouttes de pluie. Cette croûte de battance diminue fortement la perméabilité d'un sol augmentant le facteur de ruissellement. Les sols les plus impactés sont les sols nus.

Tous les sols ne sont pas sensibles de la même manière à la battance. La connaissance de la surface du sol permet de déterminer les zones créant le plus de ruissellement suite à une pluie. Les zones urbaines étant imperméabilisées ne sont pas sensibles au phénomène. En revanche les terrains nus (sans végétation) sont des zones propices à la réduction de l'infiltration par le phénomène de battance.

2.2.4 Le colmatage

Trois types de colmatage se distinguent au niveau de l'infiltration :

- Le colmatage physique, visible sur les ouvrages d'infiltration ou les zones infiltrantes. Il consiste en l'accumulation de matière minérale comblant tous les espaces poreux du sol empêchant l'eau de circuler par réduction de la porosité.
- Le colmatage chimique, dépendant de la composition chimique de l'eau. En effet, les éléments chimiques solubles de l'eau au contact du sol peuvent se regrouper et faire diminuer la porosité réduisant la perméabilité.
- Le colmatage organique, réduisant la porosité par colonisation des bactéries. Provoqué par une accumulation de micro-organisme ou de matière organique, la destruction de la structure du sol est responsable du colmatage.

Le colmatage est principalement visible sur des zones concentrant l'infiltration. Sur le long terme, il peut poser des problèmes par la diminution des volumes d'eaux qu'il est censé traiter se mettant à ruisseler lors de forts évènements pluvieux.

Pour éviter ce phénomène, la végétalisation des espaces est un excellent remède permettant de maintenir une bonne perméabilité.

2.2.5 La teneur en eau du sol

Le sol a une capacité de stockage de l'eau. Le volume stocké dépend bien de la porosité. Une proportion d'eau trop importante dans le sol, ou teneur en eau, réduit la perméabilité car les espaces de circulation de l'eau diminuent. Après une pluie, le sol, selon son pouvoir de rétention d'eau, conserve de l'eau dans les espaces poreux. La quantité d'eau présente correspond alors à l'humidité variant en fonction de la météo. Si une longue période sans précipitation a lieu, alors la quantité d'eau va diminuer par infiltration dans des strates plus profondes ou par évapotranspiration via les plantes. La capacité de rétention dépend de la composition et influe sur l'espace laissé à la circulation de l'eau.

Dans l'idée de mesurer l'humidité maximale pouvant être retenue, la notion de Available Water Capacity (AWC) désigne la quantité d'eau que le sol peut contenir après 2 à 3 jours de précipitation ou d'irrigation. Elle donne un résultat sur la capacité en millimètre d'eau pouvant être stockée suivant la profondeur du sol. Elle peut s'évaluer de deux manières différentes :

- La définition dans le domaine agricole indique la quantité d'eau maximale à disposition des plantes suite aux pluies ou à l'irrigation. Cette donnée est essentielle pour éviter le Wilting point (point de flétrissement). Par le calcul, avec la formule suivante

$$\text{Profondeur (mm)} \times \text{densité du sol} \times \text{Pourcentage d'eau à saturation}$$

- Par la somme de deux mesures physiques Field Capacity et Wilting point étant respectivement la quantité d'eau aspirée dans un sol à -33 kPa (soit 0.33Bar) et -1500kPa (soit 15 Bar) dans une masse de sol donnée. Field capacity (en français Réserve Utile) correspond à la réserve d'eau accessible par les plantes. Wilting point (ou point de flétrissement) est la quantité d'eau restante pouvant être extraite du sol.

La couche du sol saturée en permanence est appelée la nappe. Les écoulements dans cette zone sont extrêmement lents et l'infiltration n'y est plus possible. La différence entre la partie supérieure de la nappe et la surface du sol correspond à la zone non saturée. Les nappes à faible profondeur peuvent être amenées à remonter en surface provoquant des inondations de caves ou des débordements. La zone est très vite saturée en eau rendant l'infiltration difficile à mettre en œuvre. Des estimations sur le terrain de la perméabilité confirment la possibilité d'infiltrer ou non dans ces secteurs. Plus la capacité de rétention du sol est forte, plus l'eau de pluie a de la place pour circuler et ainsi s'infiltrer. Le ruissellement est alors réduit par le stockage d'eau dans les zones superficielles du sol.

2.3 La mesure de la perméabilité

La mesure de perméabilité est une donnée important pour le Grand Reims. Tous les projets ont besoin de connaitre cette valeur pour le dimensionnement des ouvrages à l'emplacement retenu. La détermination de l'essai le plus pertinent suivant les caractéristiques du territoire fixe la référence pour une similarité des mesures sur le Grand Reims.

2.3.1 Essais par sondage

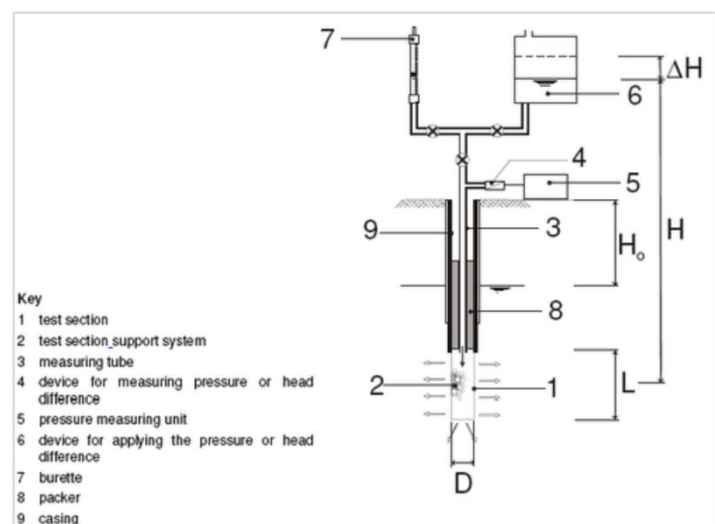
Les essais par sondage sont des essais réalisés ponctuellement pour déterminer le comportement de l'aquifère sur une zone définie. Ils sont principalement basés sur l'injection ou le pompage d'eau dans le sol, suivi d'une observation de l'évolution de la pression et/ou du niveau d'eau dans le sol.

2.3.1.1 Essai Lefranc

L'essai Lefranc consiste en l'injection sous pression d'eau dans une cavité de dimensions connues à la base du forage. La charge différentielle doit être de telle sorte que l'eau ne passe que par les parois de la cavité. Une fois l'injection réalisée, l'observation de la charge dans le temps donne des indications sur la perméabilité horizontale de la nappe. Cet essai doit être réalisé en milieu saturé de manière naturelle ou artificielle.

L'essai est très simple dans la réalisation cependant, il ne teste qu'une épaisseur de sol de 50cm à un endroit donné ce qui le rend difficile à interpréter dans des milieux hétérogènes. L'essai suit la norme NF EN ISO 22282-2 permettant d'obtenir la même méthode pour tous les sites étudiés. Les valeurs mesurées doivent se situer entre 10^{-2} et 10^{-7} m/s.

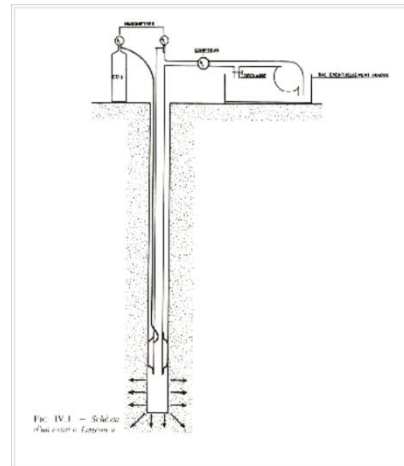
FIGURE 4 SCHEMA DE L'ESSAI LEFRANC



2.3.1.2 Essai Lugeon

L'essai de Lugeon est, comme l'essai Lefranc, un test par injection. Son principe est, après obturation du haut du puit, d'injecter de l'eau sous pression par palier afin d'arriver à une pression d'1 MPa et de mesurer le débit d'injection. Le résultat donne un retour qualitatif de l'infiltration en unité de Lugeon (débit en litre par minute par mètre de profondeur du forage sous pression d'1 MPa pendant 10min). Cet essai est simple à mettre en œuvre. La profondeur doit être de 3m (sauf indication précise de la profondeur) avec un diamètre entre 75 et 140mm. L'essai est normé (NF EN ISO 22282-3) et convient aux sols rocheux karstiques présents sur le Grand Reims.

FIGURE 5 SCHEMA DE L'ESSAI DE LUGEON

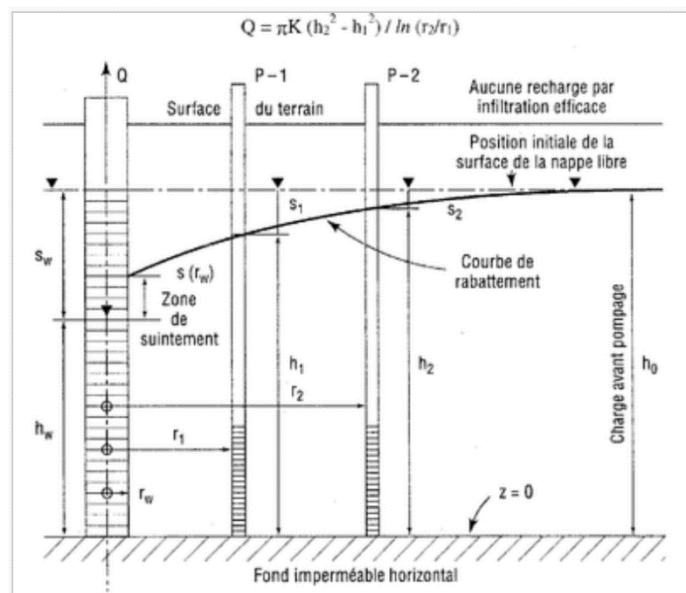


2.3.1.3 Essai de pompage

L'essai de pompage permet d'évaluer la perméabilité de l'aquifère horizontalement. L'effet de l'aspiration de la nappe par une pompe est observé avec des piézomètres situés autour du forage. L'observation du cône d'aspiration donne les informations nécessaires pour le calcul de la perméabilité. Comme avec l'essai Lefranc, le test doit être effectué en milieu saturé.

Cet essai est principalement utilisé pour observer le rabattement de nappe. L'essai est normé (NF EN ISO 22282-4) permettant une fiabilité des résultats sur les différents sites. Il est très coûteux et nécessite beaucoup de temps au niveau de la mesure mais aussi de l'interprétation. Le puits de pompage doit être descendu jusqu'au substratum imperméable ce qui peut représenter un coût important pour le forage du puits. Pour appuyer les résultats, une étude hydrogéologique détaillée doit être réalisée. La gamme de valeurs mesurées doit également se situer entre 10^{-2} et 10^{-7} m/s comme l'essai Lefranc.

FIGURE 6 SCHEMA DE L'ESSAI DE POMPAGE



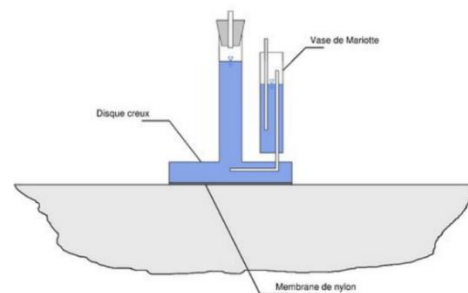
2.3.2 Essais en surface

Comme les essais par sondages, les essais en surface se font sur le terrain mais avec moins d'équipement. Ils donnent des résultats sur le comportement du sol sur les premiers centimètres en termes d'infiltration.

2.3.2.1 Essai de l'infiltromètre à disque

Le principe des infiltromètres est de mesurer la dépression que provoque le sol lorsqu'on lui impose un potentiel hydrique. Le système, fermé de l'extérieur hermétiquement, permet d'observer les propriétés des sols non-saturés ce qui est majoritairement le cas avant une pluie. Il n'est efficace que sur les 25 premiers centimètres du sol ce qui limite grandement l'interprétation pour les écoulements plus en profondeur. Le matériel utilisé est assez coûteux et demande une formation pour s'en servir correctement.

FIGURE 7 SCHEMA DE L'ESSAI DE L'INFILTROMETRE A DISQUE

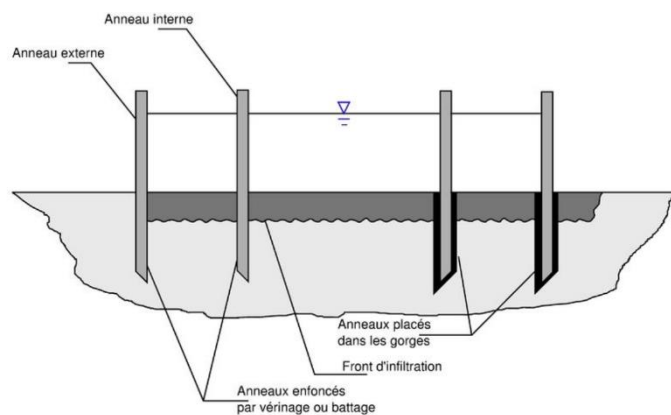


2.3.2.2 Essai d'infiltromètre à double anneau ouvert

Ce système mesure la perméabilité du sol avec une faible charge d'eau. Le volume infiltré par l'anneau central en fonction du temps donne la capacité d'infiltration du sol. La charge est considérée constante lors du test grâce aux anneaux extérieurs de la structure. Le milieu doit être saturé pour que le test fonctionne.

Le résultat obtenu donne un bon aperçu du caractère perméable de la zone ainsi que sa porosité. Le test est facilement réalisable et suit la norme NF EN ISO 22282-5. La gamme de perméabilité mesurée reste cependant limitée (entre 10^{-5} et 10^{-8} m/s). Il est important d'excaver les premiers centimètres de sols pour éviter de fausser le résultat à cause du phénomène de battance.

FIGURE 8 SCHEMA DE L'INFILTROMETRE A DOUBLE ANNEAU OUVERT



2.3.2.3 Essai de Porchet

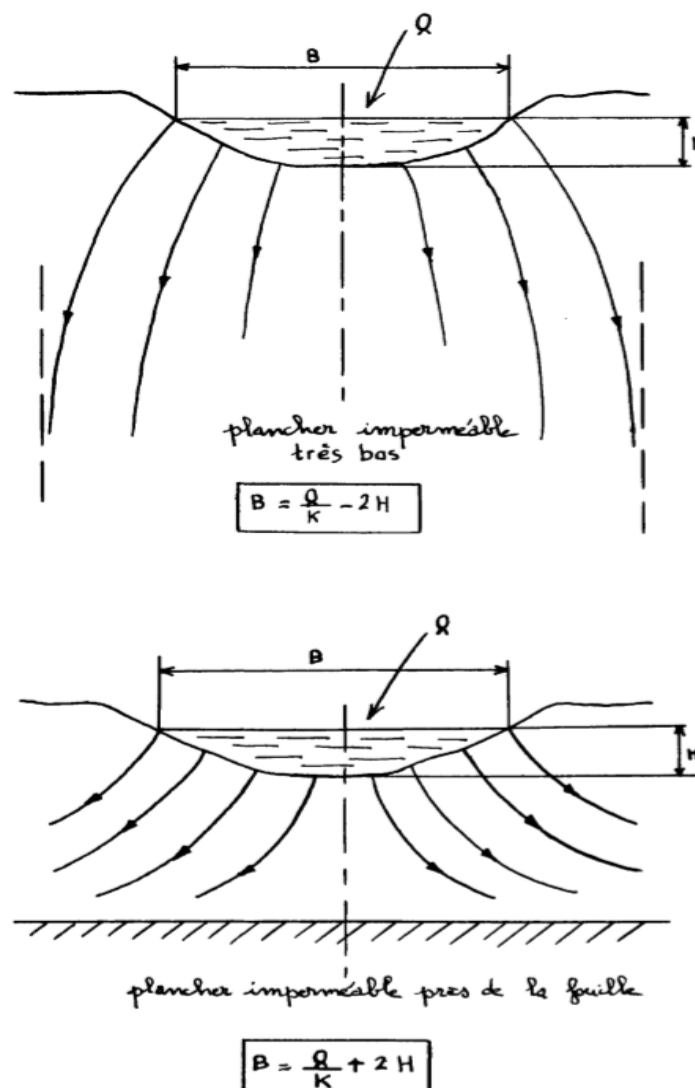
L'essai de Porchet est un test simple à réaliser et normé. Le principe est de creuser un trou d'une profondeur de 70cm et de surface carrée ou circulaire connue. Après avoir saturé le sol pendant 4h en maintenant la hauteur d'eau dans le trou à 25cm, on mesure le volume ajouté pendant 10 minutes pour maintenir ce niveau de 25cm au fond du trou. En divisant le volume introduit en 10 min par une surface, on obtient une vitesse d'infiltration correspondant au coefficient de perméabilité. La surface prise pour cette division correspond à la surface du trou additionnée au périmètre du trou fois la hauteur d'eau.

Cet essai est simple dans sa réalisation mais demande du temps (4h de remplissage) et un gros volume d'eau à infiltrer. La perméabilité obtenue est une perméabilité sur sol saturé ce qui n'est pas toujours le cas au début d'une pluie. Mais cela reste un essai fiable souvent utilisé pour ce type de mesure.

2.3.2.4 Essai de Matsuo

L'essai de Matsuo se base sur la mesure du débit, de la largeur de l'ouvrage et de la hauteur d'eau pour calculer la perméabilité d'un sol. En fonction de la profondeur du plancher imperméable, 2 formules sont à retenir :

FIGURE 9 SCHEMA DES MESURES DE MATSUO EN FONCTION DE LA PROXIMITE DE LA NAPPE



Avec :

- K : la perméabilité
- Q : le débit maintenu pour le maintien du niveau d'eau
- H : la hauteur d'eau
- B : la largeur du bassin

Il faut trouver le débit Q pour maintenir une hauteur d'eau constante sachant que la perméabilité varie au début du test tant que le milieu n'est pas saturé. Il est très simple de calculer la valeur de la perméabilité K une fois le débit connu. Cette méthode n'est pas normée et la mesure du débit ainsi que la longueur de l'ouvrage de test sont les facteurs régissant la précision de l'essai.

2.3.2.5 Essai de la doctrine de Portland

Lors de la mise en place de sa doctrine pour la gestion des eaux pluviales, la ville de Portland aux Etats Unis a mis en place son propre protocole de mesure de la perméabilité sans utilisation de matériel. Par simple mesure de vitesse d'infiltration, il est possible d'obtenir un ordre de grandeur de la perméabilité en milieu saturé et ainsi déterminer la surface des ouvrages d'infiltration. La méthode du test de percolation à Portland est la suivante:

Le trou du test est carré de 60cm par 60cm avec la profondeur de l'ouvrage prévu. S'il y a un tassement des bords lors du creusage, il suffit de rayer les bords (avec un râteau par exemple) pour ne pas fausser la mesure. L'ajout de sable ou de gravier au fond du trou limite la battance lors du versage de l'eau.

Pour saturer le sol en eau, il faut remplir le trou 2 fois avec 30cm d'eau et attendre qu'il se vide complètement pour le remplir à nouveau. Si l'eau s'en va en moins de 10 min, le test peut commencer tout de suite

Pour le test, le trou doit être rempli de 30cm d'eau par rapport au fond. A l'aide d'une échelle de mesure, l'évolution du niveau de l'eau en fonction du temps est relevée. L'échelle est graduée pour avoir une précision d'au moins 0.3cm. Une mesure est effectuée toutes les 10 min sur 1h (ou toutes les 20 min sur 2h avec un sol moins perméable) ou jusqu'à ce que toute l'eau soit drainée. Pour les sols sableux ou graveleux, il faut réduire l'intervalle de mesure si nécessaire. La répétition de ce test est au minimum de 3 fois avec une remise à niveau de l'eau entre chaque test. Le résultat obtenu est exprimé en vitesse d'infiltration calculé de manière linéaire avec les mesures faites.

Dans le cas où l'eau déborde du trou, la surface recouverte est mesurée et, par estimation du volume mis dans le trou, il est possible de diviser le débit écoulé (en cm³/h) par la surface (en cm²) pour obtenir une vitesse.

Le facteur de réduction est un complément de la méthode estimant le phénomène d'infiltration de l'eau par les parois. Il suit les mêmes étapes que le test précédent sauf que le trou est circulaire entre 15 et 25cm de diamètre et que le remplissage du trou se fait à 15cm en partant du fond. Le temps laissé à l'infiltration est défini avant le test et la mesure de la chute du niveau est relevée après le temps voulu. Les mesures doivent aussi être menées 8 fois (si l'eau continue de s'infiltrer) pour réaliser une moyenne. Le facteur de réduction est calculé de la manière suivante :

$$R = \frac{2 \times h_i - \Delta h}{D} + 1$$

Avec :

- R : le facteur de réduction
- h_i : la hauteur initiale d'eau dans le trou
- Δh : la différence de hauteur moyenne
- D : le diamètre du trou

Le facteur de réduction vient diviser la vitesse d'infiltration pour obtenir la perméabilité du sol.

2.3.3 Les limites liées aux mesures

Les mesures de perméabilité sont très précises à une échelle locale et permettent une bonne détermination du paramètre de la conductivité hydraulique. Ces valeurs sont utiles pour la mise en place d'une technique à un endroit prédéfini ainsi que pour comprendre les écoulements souterrains sur la zone. Ils sont à réaliser pour le dimensionnement des ouvrages et non la recherche d'un emplacement au stade de la planification.

Dans le cadre des objectifs de gestion du Grand Reims, l'évaluation de la perméabilité doit se faire en fonction de la profondeur des ouvrages envisagés. Les essais de surface sont appropriés aux techniques couvrant une grande zone d'infiltration. Les essais plus en profondeur sont réservés pour des cas particuliers d'ouvrages concentrés, en profondeur (puits, bassins enterrés) ou avec une faible ZNS². En tenant compte des conditions de terrains deux essais sont retenus pour évaluer la perméabilité en vue de la réalisation d'un ouvrage :

TABEAU 1 ANALYSE MULTI-CRITERE DES METHODES DE MESURE D'INFILTRATION

		Paramètres d'évaluation									Total des points (sur 5)	
		Précision		Application		Confiton de réalisation						
		Petite échelle	Grande échelle	Surface	Profondeur	Millieu Karstique	Quantité d'eau pour le test	Cout des appareils	Complexité de la méthode	Temps de réalisation		
Les techniques d'évaluation de l'infiltration	Essais par sondage	Essai Lefranc	X			X	--	+	-	+	-	-1
		Essai de Lugon	X			X	++	+	++	++	++	4,5
		Essai de pompage	X			X	+	++	--	--	-	-1
	Essais en surface	Essai de l'infiltramètre à disque	X		X		+/-	+	--	-	++	0
		Essais de l'infiltromètre à double anneau ouvert	X		X		+/-	+	+	++	++	3
		Essai de Porchet	X		X		+/-	+	++	++	+	3
		Essai de Matsuo	X		X		+/-	+	++	++	+	3
		Essai de la doctrine de Portland	X		X		+/-	++	++	++	++	4

--	= -1
-	= -0,5
+/-	= 0
+	= 0,5
++	= 1

L'essai de Portland et l'essai de Lugeon sont les plus appropriés dans notre cas. La CUGR se voit alors doter des tests lui permettant de vérifier la perméabilité d'un sol pour une application dans sa doctrine et l'apport de valeurs à l'outil PARAPLUIE. Ces essais ne donnent pas d'indication sur l'emplacement des futurs ouvrages d'infiltration. La donnée étant trop, un nombre trop important de mesures serait à réaliser pour fournir cette seule information qu'est la perméabilité, à l'échelle de 1500 km² du territoire intercommunal

Pour passer à une échelle plus grande, d'autres méthodes, basées sur des estimations et des modélisations, permettent de généraliser les paramètres du sol et obtenir des valeurs de perméabilité.

² ZNS : La Zone Non-Saturée correspond à l'espace entre la surface du sol et la nappe.

2.4 L'estimation de la perméabilité

Les cartographies de la perméabilité sont des calculs réalisés à partir des données géographiques, d'étude sur le terrain et d'interpolation sur la zone inspectée. Elles sont souvent utilisées dans le domaine agricole et fournissent des détails importants sur les propriétés des sols.

2.4.1 Les cartes du BRGM

Le BRGM du département de la Marne a fourni plusieurs rapports sur les différents paramètres liés au sol dont certains sont directement en lien avec l'infiltration. Les paramètres donnés par le BRGM pouvant être réutilisés sont :

- La perméabilité
- Les retraits et gonflement d'argile
- L'Indice de Persistance et de Développement des Réseaux (IDPR)
- Les remontées de nappes
- La présence de cavités

Les indicateurs de retrait et gonflement d'argile, de remontées de nappes et de présence de cavités donnent des probabilités de présence de ces événements. Ils sont évalués suivant la faible, moyenne et forte suspicion d'apparition et sont des indicateurs fiables pour déterminer les restrictions d'emplacement des ouvrages.

Les deux autres indicateurs donnent eux des valeurs plus ou moins représentatives des paramètres d'infiltration.

2.4.1.1 La tendance à l'infiltration pour la France

L'IDPR est construit sur la base de données topographiques BDALTI V2 IGN (résolution de 25m) et sur le réseau hydrographique donné par la BD TOPO IGN de la zone. Il permet de déterminer les « chemins empruntés » par l'eau de pluie sur tout le territoire français. L'eau quitte de deux manières un bassin versant :

- En ruissellant vers l'exutoire en se concentrant dans les ruisseaux et rivières
- En s'infiltrant dans le sous-sol et s'écoulant par l'aquifère.

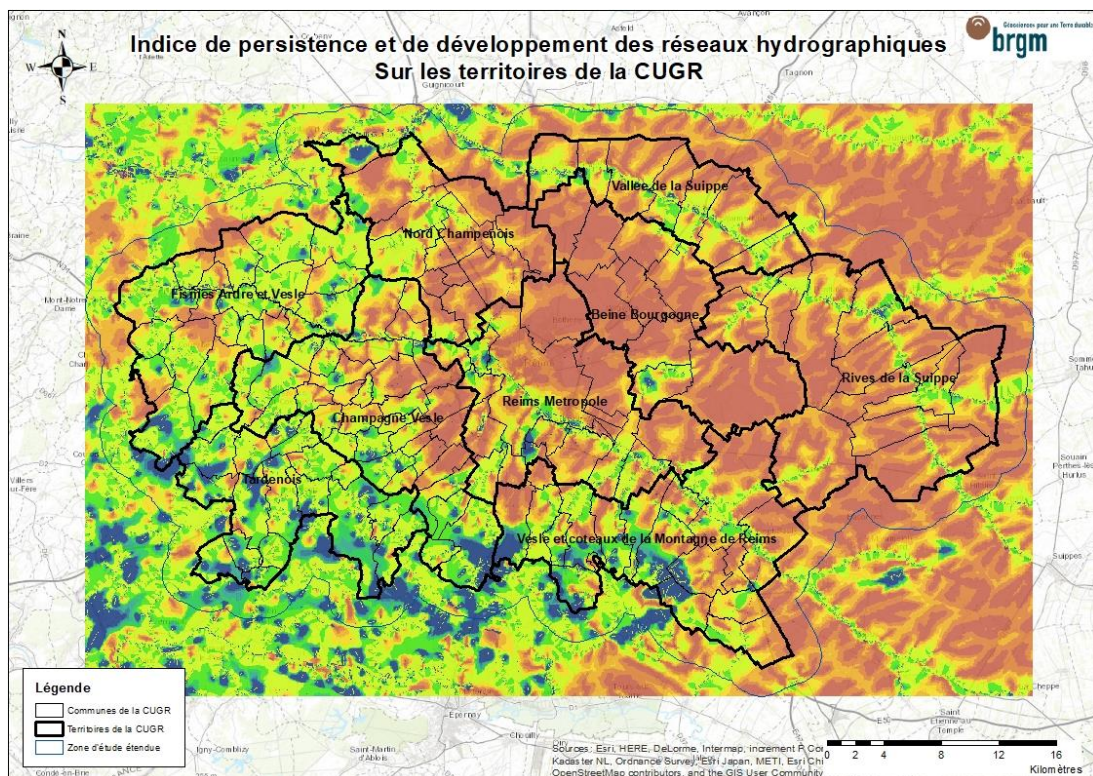
Par comparaison des réseaux hydrographiques réels avec les talwegs obtenus à l'aide de la topographie, l'IDPR prend des valeurs allant de 0 à 2000.

TABEAU 2 CLASSIFICATION DU SOL EN FONCTION DE L'IDPR (RAPPORT CONTEXTE GEOLOGIQUE)

IDPR	Interprétation	
<1000	Infiltration majoritaire Par rapport au Ruissellement superficiel	Il y a non-conformité entre la disponibilité des axes de drainage liés aux talwegs et les axes hydrologiques observés. L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint un axe de drainage défini par l'analyse des talwegs sans que celui-ci ne se concrétise par l'apparition d'un axe hydrologique naturel. Développement d'un réseau de talweg de densité supérieure à l'expression du réseau de drainage naturel.
=1000	I Infiltration et Ruissellement superficiel de même importance	Il y a conformité entre la disponibilité des axes de drainage liés au talweg et les axes hydrologiques en place
>1000	Ruissellement superficiel Par rapport à l'infiltration vers le milieu souterrain	L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint très rapidement un axe hydrologique naturel sans que la présence de celui-ci soit directement justifiée par un talweg. Le réseau de drainage naturel est de densité supérieure à celui du réseau des talwegs.
> 2000	Majoritairement assimilable à des milieux humides	Un IDPR supérieur ou égal à 2000 traduit une stagnation permanente ou transitoire des eaux, menant à deux interprétations différentes. Quand la ZNS est faible, par exemple au niveau des cours d'eau et des zones humides, l'eau ne s'infiltré pas car le terrain est saturé. Dans le cas d'une ZNS plus importante, le refus d'infiltration semble montrer une imperméabilité des terrains naturels. On pose l'hypothèse que des valeurs d'IPR supérieures à 2000 sont majoritairement assimilables à des milieux humides induisant la possibilité d'inondation par effet de barrière hydraulique.

L'IDPR donne un aperçu du mode d'écoulement de l'eau hors d'un bassin versant en fonction de son point de chute. Comme Reims est une zone karstique ou composée de plusieurs couches géologiques complexes, il est intéressant d'associer ce paramètre à d'autres pour compléter l'information sur la zone. Le résultat complet à l'échelle du Grand Reims est le suivant :

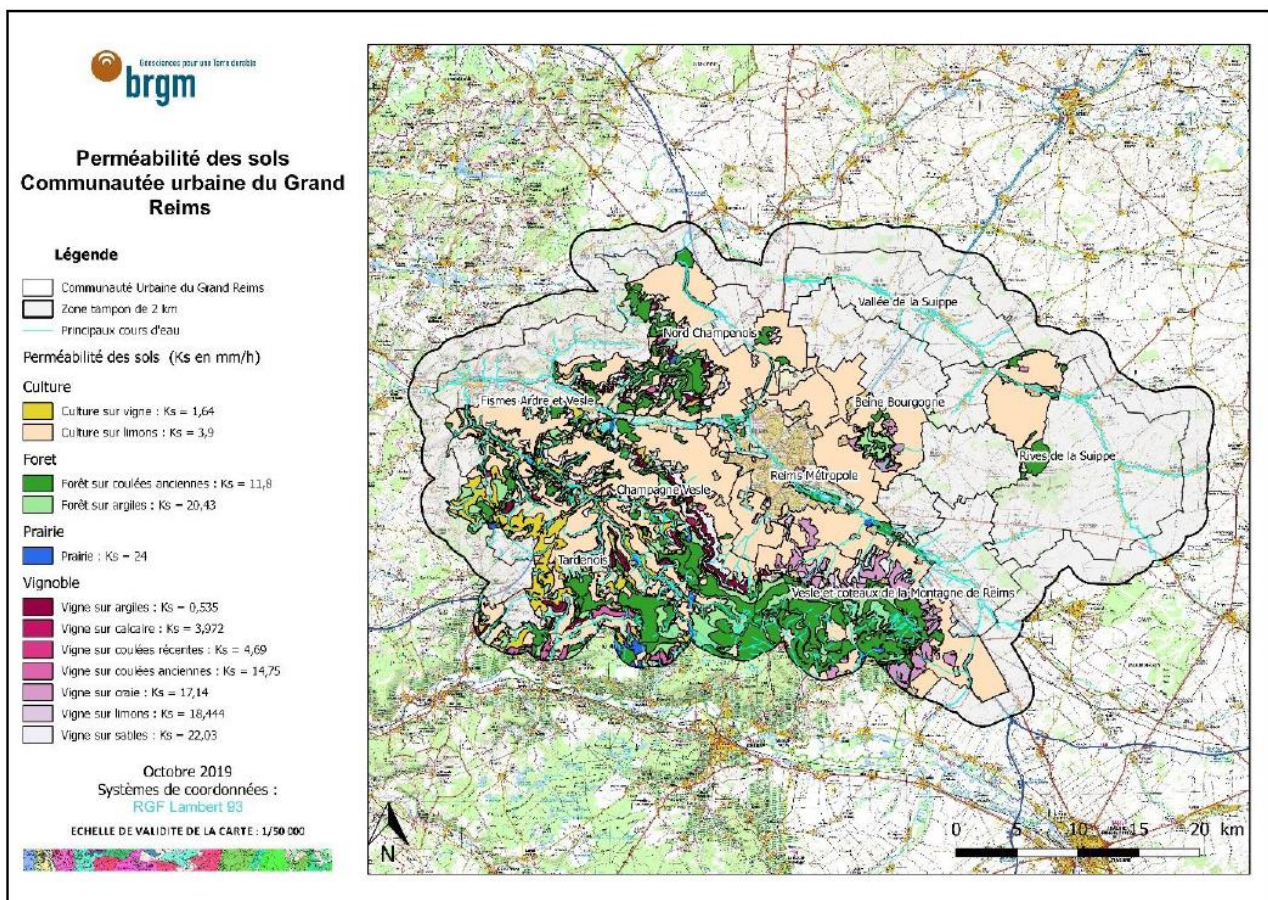
FIGURE 10 CARTE DE L'IDPR (SOURCE :BRGM)



2.4.1.2 La perméabilité pour la CUGR

L'autre indicateur de perméabilité donné directement par le BRGM est exprimé par un facteur appelé Ks (en mm/h). Il a été établi lors de « l'analyse de l'érosion des sols sur le vignoble champenois de la Marne ». Les données utilisées pour son établissement sont basées sur l'occupation des sols (Corine LandCover affinées par Recensement Parcellaire Graphique) et la typologie des formations superficielles (cartes des données géologique 1 / 50 000 et complétés par carte des glissements de terrains). Les valeurs des Ks sont relevées sur le terrain et affiliées à un type de sol déterminé suivant les données précédentes. Il est à noter que cette carte est réalisée uniquement sur les espaces bénéficiant de la PAC et difficilement extensible à d'autres zones. De plus, le Ks est représentatif d'un endroit à un instant donné et peut varier en fonction du couvert végétal ainsi que de la composition exacte du sol qui est très hétérogène sur la zone du Grand Reims.

FIGURE 11 CARTE DE LA PERMEABILITE (BRGM/RC-69434-FR)



Sur cette carte, la perméabilité ne couvre pas tout le territoire. Les principales cultures visibles sont les cultures sur limons et les forêts anciennes ayant toutes les deux un faible nombre de mesure par km². La nomenclature et les tests réalisés sont les suivants :

FIGURE 12 ENTITES DE SOL ET NOMBRE DE MESURES ASSOCIEES(BRGM/RC-69434-FR)

Entités	Nombre de mesures avant traitement	Nombre de mesures retenus	Superficie	Mesure/km ²
vignes limons	11	6	5	1,20
vignes sable	43	38	32	1,19
vignes craie	106	97	30	3,23
vignes coulées anciennes	19	19	8	2,38
vignes coulées récentes	8	7	0,2	35,00
vignes calcaire	5	5	6	0,83
vignes argile	11	11	11	1,00
forets coulées anciennes	9	9	170	0,05
foret argiles	3	3	68	0,04
prairie	1	1	7	0,14
culture limons	7	6	461	0,01
culture argiles	<i>biblio</i>	-	-	-

Certaines couches ne semblent pas avoir fait l'objet de suffisamment de tests de perméabilité pour en faire une généralisation à l'ensemble des sols du même type (exemple de l'entité « foret argile »). Cette donnée n'est pas complète pour couvrir tout le territoire du Grand Reims. Les valeurs retenues ont des densités de mesures bien différentes en fonction des entités :

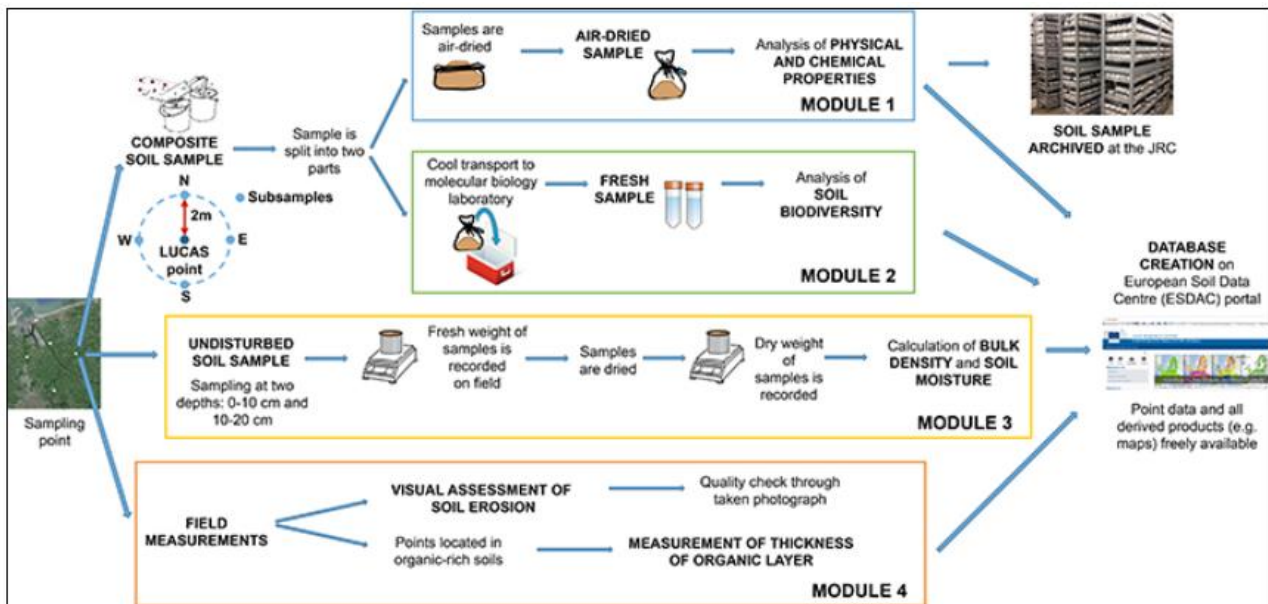
- Les entités du types « vignes » ont une densité de mesure entre 0.83 et 35 mesures/km².
- Les autres entités ont des densités proches de 0 avec une variation entre 0,01 à 0,14 voire sans données mesurées pour l'entité de « culture d'Argile » (donnée bibliographique).

L'exploitation de la donnée sur les faibles densités de mesures est difficile à envisager.

2.4.2 Les données à l'échelle de l'Europe

L'Europe, par l'intermédiaire de l'EUROSTAT (European Statistical Office), collecte un grand nombre de données permettant de définir le territoire à très grande échelle. La base de données LUCAS (Land Use and Coverage Area frame Survey) est une source d'information pour le domaine de l'agriculture et fournit des indications sur la composition des horizons des sols. Elle regroupe un ensemble de mesures réalisées à travers l'Europe au niveau du sol en fonction de son utilisation ou de sa couverture. L'ensemble se base sur plus de 250 000 points de mesures permanentes sur toute l'Union Européenne, avec 2952 points en France, cartographiant ainsi un vaste territoire. La répétition de ces mesures années après années permet de noter les évolutions des territoires et de donner des renseignements précis sur la nature des horizons du sol (entre 0 et 20 cm).

FIGURE 13 DESCRIPTION DES DIFFERENTS TYPES DE COLLECTES POUR LA BASE DE DONNEES LUCAS (SOURCE ESDAC)



Ce schéma représente les différents types de mesures réalisées sur le terrain alimentant le programme LUCAS. Des tests physiques, chimiques et visuels sont renseignés pour apporter un maximum d'informations sur les propriétés du sol.

Deux études d'estimation de ces résultats à l'échelle de l'Europe ont permis d'apporter des précisions concernant d'autres paramètres liés à l'infiltration. Ces études sont les suivantes :

- La cartographie des propriétés physiques des horizons du sol (Cristiano Ballabio 2016) s'appuie sur la base de données LUCAS. L'étude modélise via des fonctions de pédotransfert les mesures de la composition des sols pour fournir des cartes des proportions d'argiles, de limons, de sables et de la pierrosité avec la fiabilité de ces indicateurs. Ces données permettent ensuite de déterminer les différents types de sol ainsi que la teneur en eau du sol (AWC). La résolution horizontale de la cartographie est de 500m à l'échelle de l'Europe.
- La base de données hydraulique en 3D du sol à une résolution de 250m (Brigitta Toth 2017) qui donne la perméabilité (Ks) en fonction de 7 profondeur du sol. Par des opérations sur les bandes de rasters des couches produites, les différentes strates du sol allant de 0 à 2m permettent de définir une variation de la perméabilité en 3 dimensions. Cette estimation est basée sur les connaissances des sols au niveau de la composition physique (Argiles, sables, limons et pierrosité), de la composition chimique (pH, teneur en carbone organique, ...) et de la distinction entre le sol en surface et la roche mère. D'autres paramètres intermédiaires sont estimés (comme la capacité au champ, le point de flétrissement, ...) pour atteindre l'objectif de modéliser la perméabilité en 3 dimensions.

Ces données sont disponibles sur la plateforme European Soil Data Centre (ESDC) et sont accessibles gratuitement. La mise à jour des données et les études récentes en font une donnée exploitable. Cependant, pour le calcul de certains paramètres, la fiabilité des données reste à démontrer car ce sont des estimations à très grandes échelles sur des mesures locales. Les études elles-mêmes fournissent des renseignements sur ces précisions et classe le territoire de la CUGR dans une zone fiable des données (Annexe 6.1).

2.5 Quelle méthode pour répondre aux enjeux du Plan Pluie ?

Les méthodes ponctuelles ne sont pas appropriées à l'échelle du territoire. Pour couvrir une si grande surface qu'est le Grand Reims avec de la donnée, il faudrait réaliser un nombre de test trop important qui, en plus de poser des questions logistiques et techniques, présenterait un caractère économique peu réaliste. Ces mesures sont en revanche utiles pour des précisions sur l'emplacement de l'ouvrage souhaité.

L'utilisation de méthodes « par modélisation » peuvent sembler judicieuses retenir pour une détermination des paramètres d'infiltration sans effectuer trop de mesures sur le terrain. Les cartes donnent en plus des valeurs précises pour une échelle indiquée et caractérisent des aspects différents de l'infiltration. Néanmoins, ces valeurs sont plus complexes à interpréter car issues de définitions scientifiques précises et les données sont sujettes à une interprétation. En outre, seule la quantité est évaluée. Les autres facteurs comme la qualité ne sont pas pris en compte.

Ainsi, les approches dites « classiques » n'apparaissent pas suffisantes pour répondre complètement aux objectifs fixés par la CUGR. Dans la suite de ce travail, et en tenant compte des données disponibles et présentées ci-avant, nous proposons la conception d'un outil d'aide à la décision sur mesure pour le Plan Pluie du Grand Reims. La méthode retenue est celle d'une méthode à scores. Elle permet d'exploiter toutes les données cartographiques à notre disposition pour déterminer au mieux les différents paramètres d'infiltration. Ces paramètres sont facilement ajustables si des précisions locales sont à apporter par l'ajout de nouvelles informations à une échelle plus petite. Les informations transmises aux habitants sont simples, puisque la méthode à scores donne une tendance aux différents paramètres retenus sans besoin d'une analyse spécialisée. Les intitulés des cartes renseignent également sur les éventuelles démarches à mettre en œuvre pour la réalisation de l'ouvrage. Les données peuvent être modifiées pour ajuster les cartes aux différentes évolutions du territoire. Cette mobilité permet d'obtenir une infiltration sur le long terme.

3. Conception d'un outil d'aide à la décision

3.1 Les cartes à scores

Dans le cadre du Plan Pluie, la CUGR ne souhaite pas réduire l'infiltration à la seule perméabilité. Par « infiltration », la collectivité entend :

- La possibilité d'infiltration au regard des aléas présents (pollution, cavité, ...)
- La quantité d'eau pouvant être évacuée dans le sol
- La quantité d'eau peut être stockée sur place et mise à disposition de la végétation

Le principe d'une carte à scores permet d'associer des paramètres, en lien avec ces objectifs, pour obtenir une tendance à un principe de l'infiltration que l'on souhaite évaluer. En s'inspirant l'outil d'aide à la décision pour la gestion des eaux pluviales en Rhône-Alpes (Crauste de Paulet F. 2019), les indicateurs retenus informeront le Grand Reims sur les zones favorables à l'infiltration, les pressions polluantes et les contraintes pour la réalisation des ouvrages.

L'objectif de développement de la méthode de cartes à scores est de concevoir une méthode simple et robuste :

- Robuste dans le sens où elle pourrait s'appliquer sur tous types de territoires sans calage a priori et pour tous types d'échelles.
- Simple dans le sens où la méthode serait simple à implémenter et les cartes simples à interpréter. Pour cela, la méthode devait nécessiter peu de données d'entrée et des données accessibles sur tout le territoire.

La méthode à scores est déjà utilisée à l'échelle du Grand Reims pour caractériser un autre enjeu de la gestion des eaux pluviales : le ruissellement (DEHOTIN, BREIL et CEMAGREF 2011). Par association mathématique de paramètres, les enjeux de l'infiltration sont regroupés sous une seule et même note. Cette tendance permet à tous les lecteurs de comprendre le principe évoqué par l'indicateur sans explication ou présentation d'une étude complète. La précision des résultats dépend majoritairement de la résolution d'entrée des paramètres. Les différentes données sont également ajustables facilement pour apporter des modifications ou des précisions à n'importe quelle échelle. Les indicateurs visent à représenter :

- La capacité de circulation de l'eau dans les premiers horizons du sol. C'est la surface avec laquelle la pluie est en contact et qui indique la possibilité de l'infiltration sur la zone.
- La capacité de rétention dans les sols. Elle est associée à l'implantation de solutions fondées sur la nature éprouvant un besoin en eau en fonction du type de plantes.
- Les pressions anthropiques. Les zones mises en avant représentent des risques de dégradation de la qualité des masses d'eau si aucune précaution n'est prise.
- La faisabilité. Renseignement sur les aléas naturels ou la pollution pouvant poser des problèmes de qualité ou réalisation d'ouvrage.

Ces données seront accompagnées par une détermination des zones imperméables sur le territoire. Cette information intervient pour la délimitation des zones perméables et donne des précisions sur les horizons du sol. La « dentelle » des zones imperméables se base sur l'occupation des sols et est détaillée par les zones de végétation venant de l'IGN. Ce même principe est utilisé pour caractériser la teneur en eau mais avec les couches géologiques. Ces deux données de zones imperméables sur le sol et dans le sous-sol apportent de la précision pour l'établissement de l'infiltration.

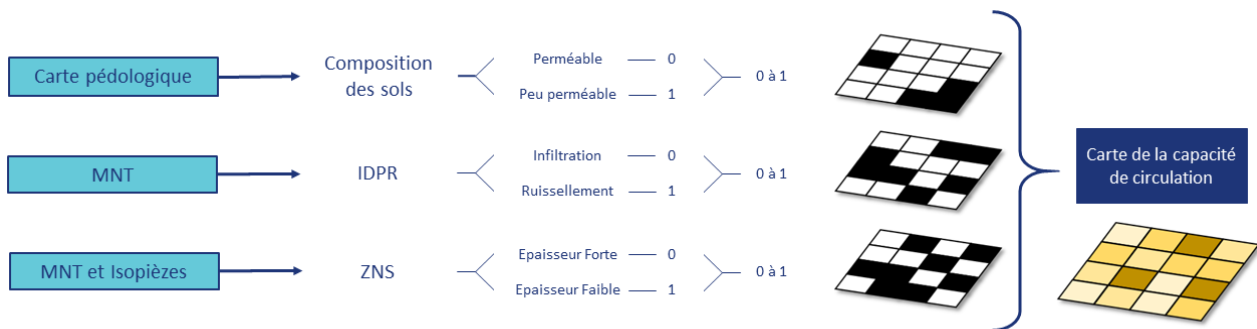
L'enjeu pour les indicateurs de l'infiltration est de fournir une résolution suffisante afin de pouvoir décider de l'implantation d'un ouvrage infiltrant. La résolution des paramètres permet de pouvoir atteindre, avec des ajustements, une échelle d'observation au 1/10 000^{ème} minimum adaptée aux dimensions des ouvrages. Les ouvrages répondant le plus à la problématique de territoire perméable et Eau-Responsable sont définis par le rapport des solutions fondées sur la nature pour s'adapter au changement climatique (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique 2019). Ces solutions fondées sur la nature se basent sur l'abandon des infrastructures lourdes et imperméables par des techniques utilisant les propriétés du sol et des plantes. Elles ont un pouvoir de réduction des effets associés au réchauffement climatique en plus d'infiltrer les eaux

de pluie. Ces solutions peuvent désigner certaines techniques alternatives (Noues, dépressions, ...) mais également des marres ou des parcs dont le but principal est détourné pour répondre à la gestion des eaux pluviales.

3.2 La capacité de circulation de l'eau

Le principe de pondération de différents paramètres permet de représenter l'infiltration en surface mais aussi dans les proches horizons du sol (très important pour l'alimentation des masses d'eau souterraines plus profondes surtout en milieu karstique).

FIGURE 14 SCHEMA DE MISE EN PLACE DE LA TENDANCE A LA PERMEABILITE



Ces trois paramètres devront être pondérés pour fournir un détail sur la perméabilité du sol prenant en compte l'aspect surfacique mais aussi souterrain en reprenant la formule utilisée par le BRGM :

$$\text{Circulation de l'eau} = a * \text{Composition des sols} + b * \text{IDPR} + c * \text{ZNS}$$

Avec : $a + b + c = 1$

Les coefficients a, b, et c sont à choisir en fonction de l'importance attribuée aux différentes couches du sol. Afin de déterminer l'ordre d'importance, il faut prendre en compte tous les paramètres et enjeux du territoire. La tendance à la perméabilité de la composition des sols ne donne pas d'indication sur la perméabilité du sol sous les surfaces bâties alors que l'IDPR donne des renseignements sur tout le territoire. Il est donc important de mettre l'IDPR plus en avant par rapport la carte d'horizon des sols car une grande partie de la surface du terrain est « faussée » par la mise en imperméabilité des zones urbanisées. 45% de la surface est considérée comme perméable pour la composition des sols contre 86% pour l'IDPR (avec prise en compte des valeurs aux alentours de 1000 correspondant aux zones infiltrante et ruisselante). De plus, la composition du sol donne une information sur les premiers centimètres de sol alors que l'IDPR est plus général et traite de la tendance entre infiltration et ruissellement. Pour ce qui est de la ZNS, l'information qu'elle apporte permet de définir les zones plus ou moins saturables en eaux. La présence d'une ZNS faible réduit la capacité d'infiltrer un grande quantité d'eau. La ZNS ne dépend pas des zones bâties ce qui laisse l'interprétation de l'infiltration possible dans ces zones. Les coefficients seront pris selon la répartition suivante :

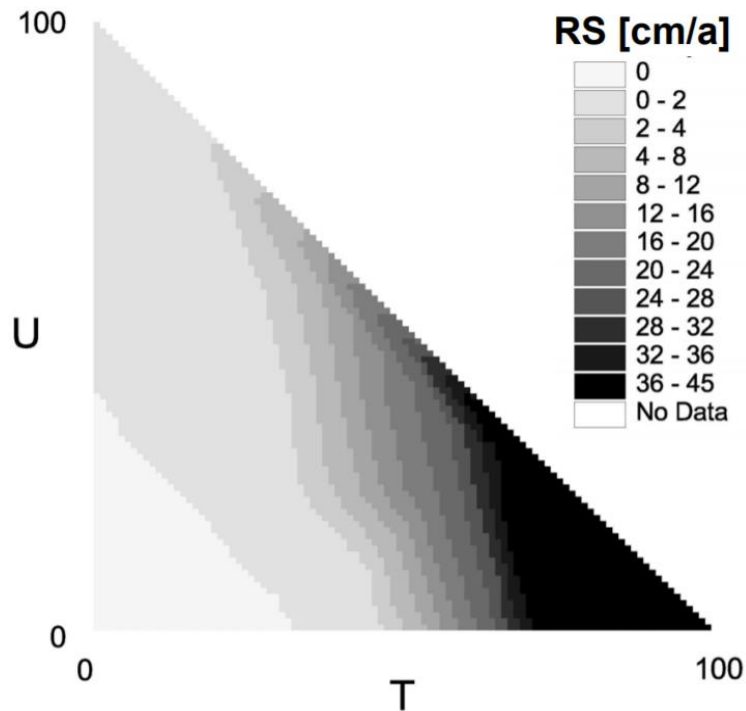
- a = 0.25
- b = 0.5
- c = 0.25

L'infiltration sur l'horizon immédiat du sol est mise en avant dans cet indicateur. Pour avoir des informations concernant le sous-sol, l'indicateur de la capacité d'infiltration permet de déterminer les zones propices au stockage des eaux de pluie

3.2.1 La composition des sols

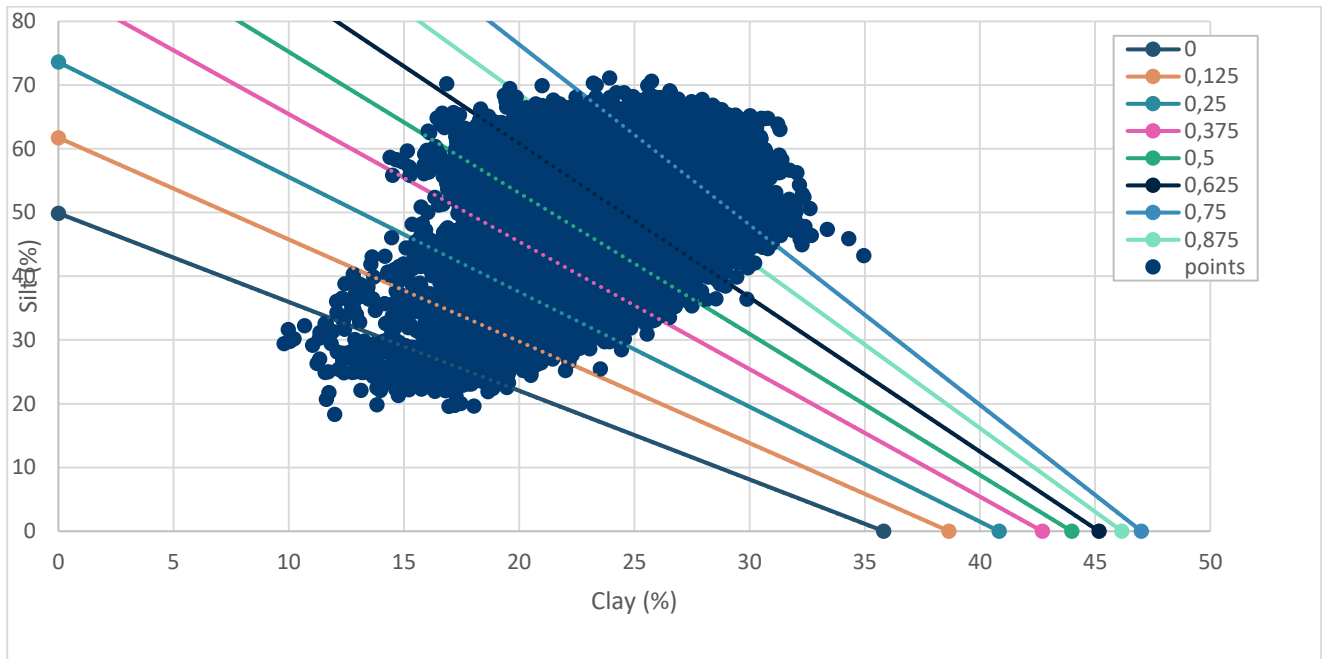
La tendance à la perméabilité de la composition des sols a été construite à partir des données européennes donnant la proportion d'argile et de limon (Brigitta Toth 2017) et en se basant sur les travaux de Bormann qui caractérisent la tendance au ruissellement des sols selon leur composition et leur perméabilité (BORMANN, 2007). Plus le pourcentage d'argile est important, plus la perméabilité est faible et par conséquent le ruissellement important, tel qu'illustré dans la figure suivante :

FIGURE 15 TENDANCE AU RUISSellement SELON LE POURCENTAGE DE LIMON ET D'ARGILE DES SOLS



En se basant sur ces travaux, les sols du périmètre du Grand Reims ont été discrétisés en nuages de points caractérisant le pourcentage d'argile et de limon des sols. Des seuils de classification variant de 0 à 1 (0 : perméabilité importante et ruissellement faible ; 1 : perméabilité faible et ruissellement important) ont été créés et la valeur de groupe correspondante a été attribuée au point spatialisé correspondant, tel que précisé dans la figure suivante :

FIGURE 16 NUAGE DE POINT CARACTERISANT LES POURCENTAGES DE LIMON ET D'ARGILE DES SOLS DU PERIMETRE DU GRAND REIMS ET TENDANCE AU RUISSELLEMENT ASSOCIE (SEUILS)



Après avoir spatialisé les résultats, les coefficients des zones artificialisées et des surfaces en eau (« dentelles » des zones imperméables) ont été maximisés pour caractériser le ruissellement important de ces surfaces et leur mauvaise perméabilité. Un autre aspect du ruissellement, pris en compte dans l'étude, est le phénomène de battance réduisant le caractère infiltrant du sol pendant l'évènement pluvieux.

3.2.2 L'IDPR

L'IDPR est repris dans l'établissement du critère car il est suffisamment précis et bien renseigné pour le territoire de la CUGR (échelle 1/25 000^{ème}). Il renseigne sur le comportement d'infiltration sur la surface immédiate et donne une information supplémentaire à la perméabilité précédente. En effet, la topographie et l'emplacement des cours d'eau ne sont pas des données de composition de sol, il n'y a pas de doublon dans l'information donnée. L'IDPR présente de légères incohérences dans sa forme brute. Un filtrage de la valeur permet d'effacer les « bruits » présents sur la couche.

3.2.3 La zone non-saturée

La construction complète du paramètre est décrite dans la partie 3.6 car la ZNS intervient auprès de plusieurs indicateurs et n'est pas fournie de manière exhaustive.

La Zone Non-Saturée (ZNS) est très importante pour l'infiltration dans le sol surtout en milieu karstique. Cette zone désigne les échanges entre l'horizon du sol et la zone saturée ce qui complète les informations précédentes. Une ZNS faible limite fortement l'infiltration et augmenterait fortement la taille des ouvrages d'infiltration pour en diminuer la profondeur. Elle permet également de réaliser un stockage supplémentaire lors des évènements pluvieux limitant l'effet de crue pour les cours d'eau en aval. L'information obtenue concernera la zone de sol entre la surface et le début de la nappe et permettra de caractériser l'effet de d'aspiration du sol. Pour son établissement, les trois couches de ligne piézométrique des nappes du Lutetien, de l'Ypressien et de la Craie de champagne sont retenues. Le raster réalisé suite à une interpolation est soustrait au MNT pour obtenir la ZNS.

3.2.4 La carte des résultats de la capacité de circulation de l'eau

L'indicateur de perméabilité ainsi obtenu est une somme pondérée des paramètres précédents pour arriver à ce résultat :

FIGURE 17 CARTE DE LA CAPACITE DE CIRCULATION DE L'EAU

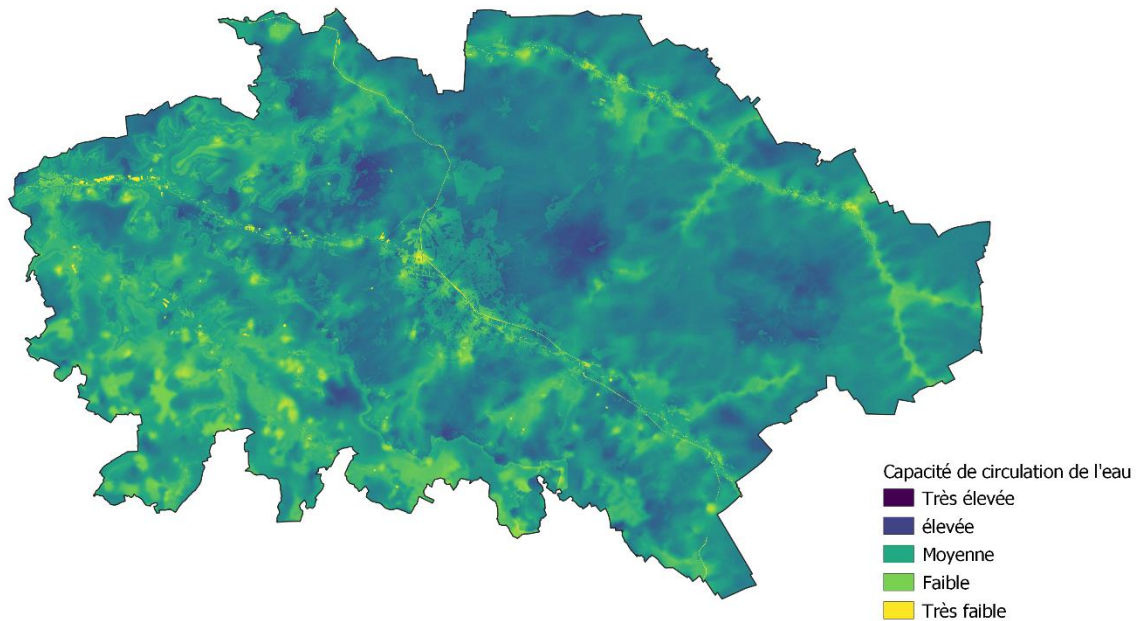
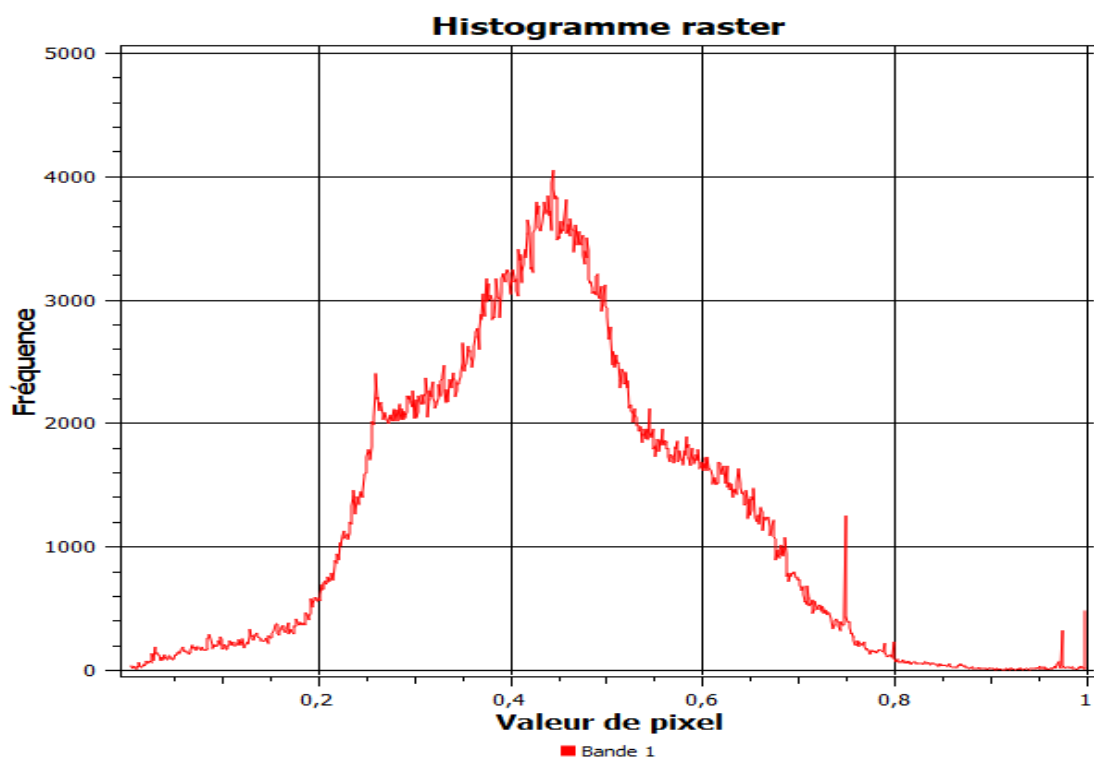


FIGURE 18 HISTOGRAMME DES VALEURS ASSOCIEES



Sur l'ensemble du territoire, les valeurs de tendance à la perméabilité sont obtenues pour indiquer le caractère plus ou moins perméable du sol. Les valeurs se rapprochant de 1 sont des zones où l'infiltration sera complexe à réaliser contrairement aux valeurs proches de 0 ayant un bon pouvoir d'infiltration. La répartition de valeurs sur le territoire est quasiment uniforme selon l'histogramme des résultats. La tendance semble se diriger plus vers l'infiltration que le ruissellement.

L'histogramme indique le nombre de pixels (ou la surface occupé) en fonction de la valeur de capacité de circulation affectée. La forme générale ressemble une courbe gaussienne confirmant la tendance à l'infiltration. Des pics de valeurs sont visible et représentent :

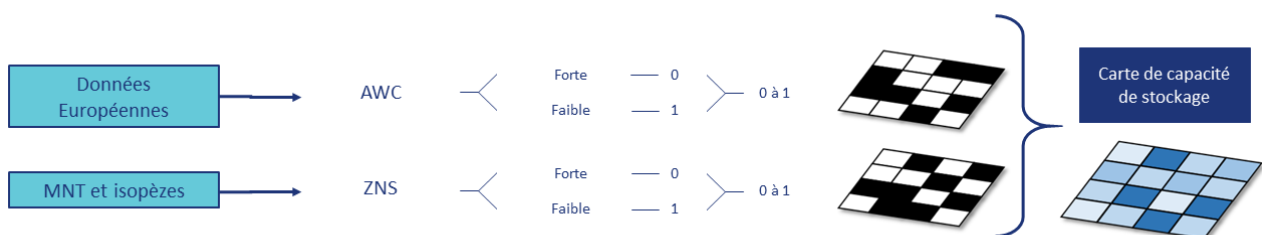
- Pour la valeur 0,75, ce pic correspond aux surfaces de ruissellement de l'IDPR avec un score de 2000
- Pour les valeurs proches de 1, correspondent aux cours d'eau et surface en eau

Les zones les plus perméables sont principalement concentrées au niveau de la plaine de la Craie de champagne. Au niveau des relief, l'infiltration est plus limitée ce qui s'explique par la présence d'argile et le début des fortes pentes influençant le paramètre d'IDPR. Les cours d'eau sont bien visibles sur l'ensemble du territoire.

La tendance à l'infiltration ne s'applique que pour les horizons des sols. Des mesures sur le terrain permettront d'obtenir une valeur précise du coefficient hydraulique pour le dimensionnement des ouvrages. Les zones de montagnes manque de précision au niveau de la ZNS car les nappes présentes sur ces reliefs sont discontinues et difficiles à mesurer précisément de par l'hétérogénéité des sols.

3.3 La capacité de rétention du sol

Cette notion est basée sur une vision agricole de la réserve en eau constituée par le sol pour correspondre à l'idée d'implantation de solution fondée sur la nature. La donnée AWC caractérise à l'échelle de l'Europe cette notion et est couplé à la ZNS pour apporter des précisions de taille d'horizon des sols.



3.3.1 Construction de l'indicateur

Le paramètre AWC donne une hauteur de sol en millimètre pour un horizon de sol donné. Cette profondeur est associée à la profondeur de la ZNS correspondant à la limite de stockage maximale possible.

Quand :

$$AWC \leq ZNS$$

Le paramètre d'AWC est retenu tel quel. Si l'opposé se produit, alors la ZNS est limitante dans la zone.

La capacité de stockage de l'eau dans les horizons du sol sera donc connue et permettra d'obtenir une indication fiable pour la mise en place d'ouvrages infiltrant. Ce résultat donne une tendance de rétention de l'eau pour l'horizon des sols du territoire du Grand Reims. Cependant, des couches géologiques peuvent faire changer ce paramètre.

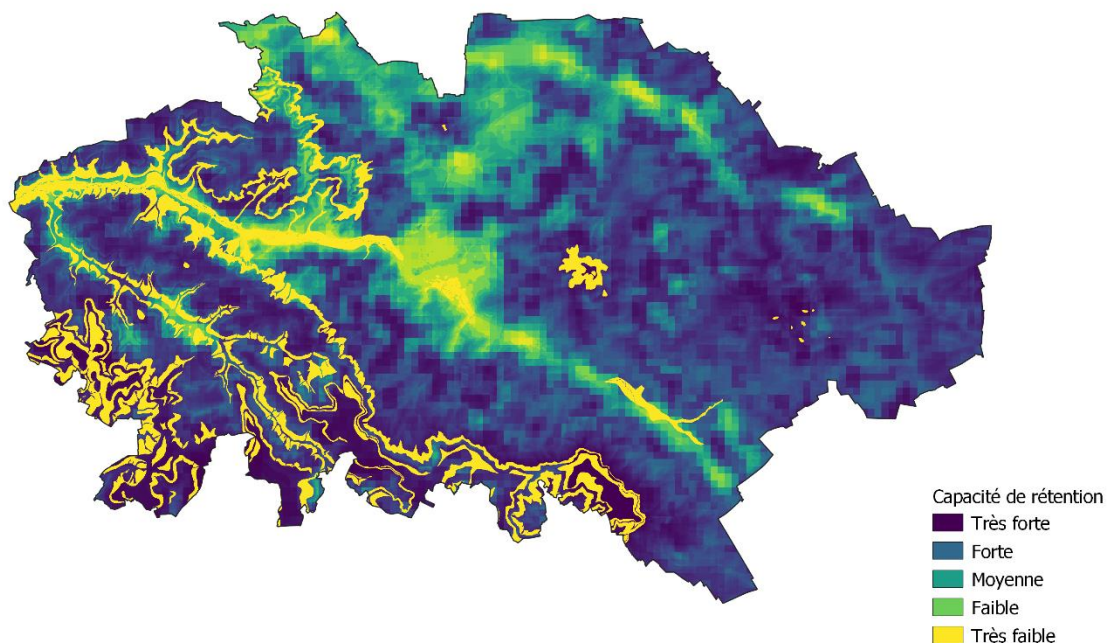
Les couches argileuses présentes notamment au niveau du relief sont des zones où, même si l'infiltration se fait sur l'horizon du sol, la faible perméabilité engendre un ruissellement de l'eau vers des couches plus perméables. Ces zones se verront donc affecter la valeur de 1 pour prendre ce phénomène en compte.

3.3.2 La carte des résultats de la capacité de rétention du sol

La capacité de rétention du sol donne un aperçu de la tendance au stockage des premiers horizons de sol. Le paramètre AWC ayant une échelle au 1/250 000^{ème}, il a été convenu de ré-échantillonner les paramètres avec la méthode de Nearest Neighbour pour passer à une échelle au 1/10 000^{ème}. La ZNS est reprise identique à celle calculée précédemment.

La valeur obtenue varie entre 0 et 1 avec 0 la capacité de rétention permet de réaliser une réserve d'eau afin d'infiltrer plus en profondeur et 1 la capacité de rétention laisse s'écouler très facilement les eaux limitant le stockage. La couche masque des zones géologiques très faiblement perméables vient modifier la valeur pour arriver à 1. La carte obtenue est la suivante :

FIGURE 19 CARTES DE LA CAPACITE DE RETENTION DES SOLS



La carte montre la tendance à la rétention de l'eau par les sols suite à 2-3 jours de pluie. Le territoire fournit, dans de nombreux secteurs, de bonnes conditions à l'infiltration. Sur les zones argileuses et les zones humides, l'infiltration est plus complexe dans sa mise en œuvre. Sur la commune de Reims et certains territoires au nord, la capacité de rétention du sol est particulièrement limitée par la présence d'une faible ZNS associée à une mauvaise rétention d'eau.

Cette donnée peut s'avérer utile lors de la mise en place d'un ouvrage pour indiquer les types de couvert végétal. En effet, les plantes demandeuses en eau ne se développeront pas correctement sur un sol à faible capacité de rétention. Elles jouent un rôle essentiel dans le maintien de bonne condition d'infiltration.

Contrairement à la perméabilité, la ZNS est plus fiable sur cette carte car les frontières entre les différentes couches s'effacent par la mise en valeur des zones argileuses. Le paramètre AWC dépend lui des estimations à l'échelle de l'Europe pour l'horizon des sols. La diminution d'échelle engendre une légère perte d'information qui ne pose pas de grave soucis pour l'observation d'une tendance à la rétention.

Comme le paramètre de la perméabilité est lié sur à cette carte sur le plan des facteurs physiques, il serait possible d'envisager la somme de ces deux indicateurs pour former une seule tendance à l'infiltration.

3.4 Les pressions polluantes

Cet indicateur regroupe les pollutions diffuses présentent dans la CUGR. Ces pollutions diffuses, aussi appelées les pressions polluantes, sont des sources de substances indésirables pour la qualité des eaux issues de plusieurs foyers répartis sur l'ensemble du territoire et variable dans le temps. Par lessivage du sol lors de l'infiltration des eaux de pluie, ces substances indésirables sont acheminées vers la nappe et dégradés la qualité des eaux. Il est important de ne pas faciliter l'infiltration direct par des ouvrages dans ces zones sans un traitement préalable ou de trouver des solutions permettant un traitement des eaux polluées avec l'infiltration. Ces zones ne sont pas à éviter mais à contrôler et nécessite des analyses plus poussées pour le traitement des eaux pluviales.

Ces pressions polluantes sont sources d'activités humaines de tous types (agricole, routier, industrielle, ...). Elles ne sont pas permanentes et difficiles à cibler précisément. Pour préserver au maximum la qualité des masses d'eaux, les activités humaines, caractérisées l'occupation des sols, sont représentées selon l'estimation de la pression polluante engendrée.

FIGURE 20 SCHEMA DES PRESSIONS POLLUANTES



La construction des cartes se fait par estimation de la pression polluante par catégories d'activités.

3.4.1 L'occupation des sols

Pour l'Atlas Urbain, la carte d'occupation des sols se voit affecter des valeurs en fonction de son risque de présence de pressions polluantes liées à l'activité humaine correspondante. Une catégorie d'occupation a été divisée à pour mieux correspondre aux éventuelles risques anthropiques sur les routes, les industries ou les surfaces urbanisés. Les catégories de zones industrielles, commerciales et militaires, regroupées sous la même appellation dans l'Atlas Urbains, sont distinguées les unes des autres car elles présentent des risques de pollutions différentes. Cette distinction s'est faite selon les données du Grand Reims pour apporter du détail au découpage.

Pour les réseaux routiers et ferroviaires, la carte d'occupation des sols regroupe tout le linéaire. Dans les environs proches de ces réseaux, il paraît intéressant de réaliser une zone tampon autour des emprises pour limiter l'infiltration sans traitement. Ces zones sont soumises à une pollution chronique dû aux passages des véhicules et des trains. Pour le réseau routier, cela concerne principalement la présence de plastiques dû aux pneus, aux hydrocarbures, aux huiles et aux métaux par usure des pièces. Ces éléments sont retrouvés jusqu'à 25m autour des axes principaux. Pour le réseau ferroviaire, les principales causes de pollution sont les herbicides pour le nettoyage des voix (même si, sur le Grand Reims, des efforts sont fait de ce point de

vue pour l'entretien des voies), le traitement du bois sur les traverses, aux métaux lourds et aux débris des voies (Noël Y. 2007). Comme pour les routes, une zone tampon de 25m sera donc prise autour des voies. En plus de la pollution apportée par le passage des véhicules, il est possible qu'une pollution accidentelle (renversement de produits chimiques, perte de liquides suite à un accident, chantiers, ...) entre en contact avec le terrain autour. C'est pourquoi il faut infiltrer avec précaution dans ces zones à risques.

TABLEAU 3 NOTES POUR L'OCCUPATION DES SOLS

Occupation des sols		Note
Chemins de fer		1
Route rapide à fort trafic		1
Aéroport		0.7
Autres routes		0.8
Zones commerciales et Bâtiments publics		0.6
Trafic urbain continu	Très forte densité	0.6
	Forte densité	0.5
	Moyenne densité	0.4
	Basse densité	0.3
	Très basse densité	0.2
Structures isolées		0.1
Zones industrielles et militaires		1

Les valeurs ont été attribuées suivant la pression polluante engendrée. Les routes, les zones industrielles et voies ferrées se sont vues attribuées la note maximale de 1 pour des raisons de forts trafics de circulation ou de potentielle présence de produits dangereux. Les autres routes étant moins fréquentées, la note a été légèrement diminuée. Pour les aéroports, le Grand Reims ne compte qu'un petit aérodrome à faible trafic limitant la note de pression polluante. Les urbaines se sont vues attribuer une notation nuancée en fonction de la densité de population. Ainsi des zones de fortes pressions polluantes sont liées aux fortes densités de population et inversement. Les notations se sont basées sur la littérature et ajustées à l'activité sur le territoire.

3.4.2 Les pollutions agricoles

Un autre type de pollution, non représenté par la carte d'occupation des sols, est la pollution d'origine agricole. L'AGRESTE fournit l'indice de fréquence de traitement sur les surfaces agricoles. Il permet d'indiquer les surfaces les plus soumises aux traitements par produits chimiques. Les fréquences de traitement sont données à l'échelle d'une année et varient entre 0 et 23,5. Les données proviennent du Registre Parcellaire Graphique et sont complétées avec l'Atlas Urbain pour indiquer l'emplacement des vignes. Cératines parcelles de vignes ne sont pas renseignées sur l'Atlas Urbain mais sont tout de même visibles sur les photos aériennes.

Pour la pollution organique, les Diagnostics Territoriaux Multi-Pression (DTMP) réalisés sur les Aires d'Alimentation de Captage ont été menés sur le territoire du Grand Reims et font part d'une pollution azotée liée aux reliquats de fin de culture principalement sur les champs de blé et d'orge, principaux types de culture sur le Grand Reims. De plus, l'état de la ressource en eaux (rivières et nappes) est impacté par ce type de pollution. Les champs d'orge et de blé auront une note de 0.78 sauf si la note de traitement chimique est supérieure, la valeur la plus forte sera retenue. Tous les champs de ces types ne sont pas impactés par ce problème de pollution, il faudra réaliser des tests supplémentaires sur le terrain pour vérifier l'information. La pollution organique étant plus « simple » à traiter, la note est donc inférieure à celle de la pollution chimique. L'indicateur sera plus dévalorisant pour les zones touchées par les pollutions agricoles chimiques et permettra de cibler les meilleures techniques alternatives pour y remédier. Les précisions sur les pollutions sont disponibles en Annexe 6.2.

TABLEAU 4 NOTES POUR LA POLLUTION AGRICOLE CHIMIQUE (IFT)

Indice de fréquence de traitement	Note
Null	0
Verger	0.1
3 / 4 / 4.1	0.2
5.7	0.3
6.4	0.4
8.6	0.5
18.8	0.9
23.5	1

Les indices d'IFT sont notés en fonction de la pression polluante exercé. Des classes ont été faites pour bien distinguer la différence entre les plus faibles indices de traitement et les plus forts donnant un saut entre les valeurs 8.6 et 18.8 d'IFT.

TABLEAU 5 NOTES POUR LA POLLUTION AGRICOLE ORGANIQUE (RFC)

Indice de fréquence de traitement	Note
Autre type	Note de IFT
Blé et orge	0.7 ou note IFT

3.4.3 L'évaluation des pressions polluantes

L'évaluation de la pollution est faite de 0 à 1 allant du faible risque de présence de pollution à la très forte probabilité de pollution. Les valeurs seront attribuées en fonction du risque considéré pour les différentes pollutions.

La carte des pollutions est constituée de :

- La carte d'IFT pour la fréquence de traitement des cultures avec des produits chimiques et la pollution organique avec le type de champ présent sur la zone.
- L'atlas urbain (redécoupé suivant certains paramètres).
- La zone tampon des réseaux routiers et ferroviaires.

Lors de la superposition des différentes couches, la priorité est donnée d'abord aux zones industrielles et à la zone militaire puis à l'occupation des sols et enfin à l'agriculture. Une différence est réalisée pour prioriser les cartes, suivie de l'union des différentes couches. Les polygones obtenus inférieurs à 25m² ont été enlevés pour correspondre à la même échelle que le raster issu de la transformation des valeurs.

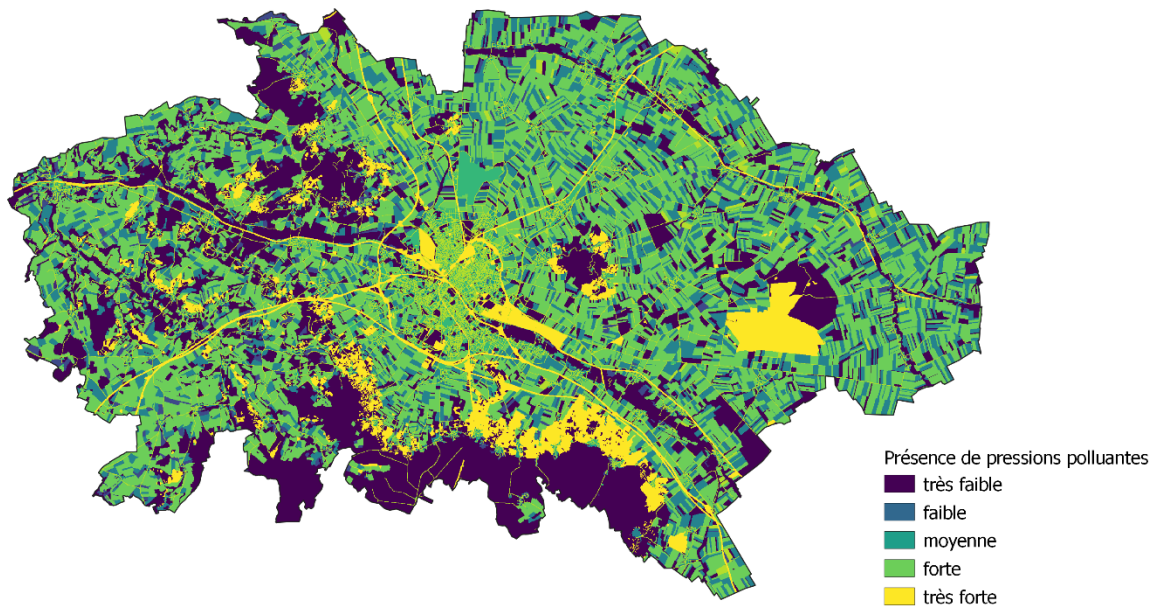
La carte d'occupation des sols est incomplète sur certaines zones du grand Reims (ville et routes). Pour combler les blancs dans certaines zones, l'information est récupérée sur les surfaces bâties pour les quelques villages manquants et les routes provenant des couches d'emprise SANEF, DIRNORD et CD51. Comme les villes sélectionnées sont principalement situées en campagne, la valeur retenue sera de 4 quant aux routes elles prendront la valeur de 8 correspondant aux routes à faible trafic.

Le reste des zones n'ayant aucune valeur attribuée, la valeur prise par défaut sera 0 ce qui signifie que dans ces zones, il n'existe pas de pressions polluantes particulières.

3.4.4 La cartes des résultats des pressions polluantes

L'indicateur des pressions polluantes se base sur des couches de polygones correspondant au type de sol présent. Deux données sont principalement utilisées : l'atlas urbain et la donnée de Corine Land Cover (repris par l'AGRESTE pour donner l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT)). Certaines données étaient manquantes pour des routes et des communes et ont été complétées à l'aide des surfaces bâties et des emprises des routes.

FIGURE 21 CARTE DES PRESSIONS POLLUANTES



Le facteur varie de 0 à 1 en prenant toujours l'idée que la valeur 0 est la plus favorable à l'infiltration et la valeur 1 la plus défavorable. Dans le cadre des pressions polluantes, les zones viticoles, les industries et les routes sont visibles comme étant les plus soumises aux pressions polluantes. Le reste du territoire semble varié entre des pressions polluantes moyennes à faibles.

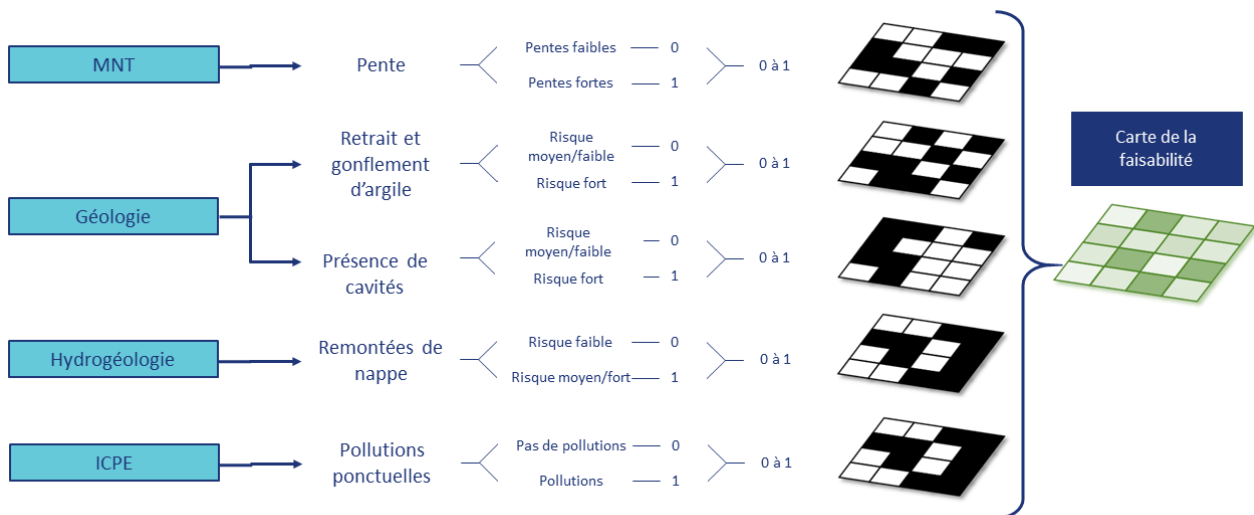
3.5 La faisabilité

Cet indicateur est construit suivant plusieurs couches d'aléa pouvant créer des problèmes suite à la mise en place d'un ouvrage d'infiltration. Ces informations peuvent restreindre les capacités du projet pour l'infiltration. La faisabilité permet de finaliser l'outil d'aide à la décision par une potentielle faisabilité de l'aménagement dans les zones prédéfinies pour l'infiltration. Il agira comme un indicateur pour réaliser plusieurs tests complémentaires en cas de présence d'un paramètre de faisabilité. Les 5 paramètres retenus pour la CUGR sont :

- La présence de pentes fortes
- La présence de cavités
- La présence de remontées de nappes
- La présence de retraits et gonflements d'argile
- La présence de pollutions ponctuelles

L'indicateur ira donc de 0 à 5, par somme des différents paramètres définis de manière booléenne, avec 0 aucun problème n'est présent sur la zone et 5 tous les problèmes rencontrés sont présents sur la zone. Cette carte ne fait pas référence pour le raccordement immédiat au réseau d'eaux pluviales. Des techniques adaptées peuvent résoudre ces problèmes et permettre une infiltration sans soucis.

FIGURE 22 SCHEMA DE LA CARTE DE FAISABILITE



La somme de la présence ou non des indicateurs représente les problèmes pouvant nuire à l'infiltration. Par moment, les paramètres peuvent prendre une valeur de 0.5 pour des questions d'échelle de la donnée source. La mise en places des paramètres est détaillé pour comprendre toutes les contraintes posées à l'infiltration dans ces zones (annexe 6.3).

3.5.1 Les pentes fortes

Selon la doctrine du Grand Est pour la gestion des eaux pluviales, l'infiltration sur les pentes supérieures à 10% n'est pas envisageable (sauf justification) pour des raisons de complexité technique. La doctrine de gestion des eaux pluviales ne conseille pas d'infiltrer sur ces zones. C'est le seul paramètre qui peut être considéré comme éliminatoire lors de la réalisation d'un ouvrage. Le MNT du Grand Reims permet de calculer les pentes en pourcentage avec une très bonne précision (5m avec filtration pour les pixels isolés). En se basant sur cette carte, les pentes supérieures à 10% se sont vues affecter la valeur de 1 afin d'obtenir une couche Booléenne représentative des endroits à ne pas infiltrer. Cependant, l'ouvrage peut être relocalisé dans une zone à plus faible pente pour assurer sa fonction. Les pentes supérieures à 10% seront considérées comme non-faisable aux yeux de la doctrine du Grand Est.

3.5.2 Les cavités

La carte de présence des cavités est fournie, pour le territoire du grand Reims, par le BRGM. Elle est un paramètre important pour une zone karstique comme le territoire du Grand Reims. Ces cavités peuvent être source d'effondrement et de dégâts matériels. L'infiltration peut augmenter le volume d'eau circulant dans ces cavités et ainsi augmenter leurs tailles. En plus de la taille des cavités, l'eau présente est sensible à la qualité des eaux infiltrées. Les cartes fournies actuellement par le BRGM ne sont pas précises et trop vaste pour cibler correctement les cavités présentes sur la zone. Seule la commune de Reims paraît avoir une carte des cavités plutôt fiable (étude des caves de champagnes pour l'UNESCO) ainsi que le recensement de certaines cavités isolées avec l'ajout d'une zone tampon (Correspondant aux caves de champagne). Si une étude plus poussée ne peut pas être menée dans ces zones, la surface des ouvrages sera prise pour avoir un facteur de charge très faible.

La carte des cavités a une zone tampon de 100m autour de l'emprise et d'une valeur de 0,5 pour compenser le manque de précision suite à la réduction de l'échelle.

3.5.3 Les remontées de nappes

La carte des remontées de nappe est fournie par le BRGM. Elle représente les potentiels risques d'inondations par la proximité ou non de la nappe. Plus la nappe est proche du sol (risque de remontée de nappe fort), moins il est facile d'infiltrer avec un risque d'aggravation des inondations par apport trop important d'eau dans le sol. La carte a une précision vraiment moyenne (250m de côté pour un pixel). De plus, les zones données par la couche n'ont pas l'air d'être bien définies du point de vue de la légende mais aussi du découpage des polygones. Il sera donc difficile d'en tirer une zone propre pour la délimitation des zones à infiltrer. Les catégories retenues sont les inondations de certitude moyenne et forte ainsi que les inondations de cave avec une certitude moyenne et forte.

La carte des remontées de nappes a une zone tampon de 200m autour de l'emprise et d'une valeur de 0,5 pour compenser le manque de précision suite à la réduction de l'échelle.

3.5.4 L'aléa retrait-gonflement des argiles

L'aléa retrait-gonflement des argiles est également fourni par le BRGM sur toute la France. La forme des différents polygones correspond à des zones tampons (de 100m) construites en fonction de la carte géologique prise sur les couches contenant de l'argile (marne supra gypseuse, dépôts tourbeux, Argile silteuse lignite calcaire argileux). La carte de retrait et gonflement d'argile sera prise pour les plus fort risque de présence du phénomène de retrait et gonflement. Dans ces zones, l'infiltration n'est pas impossible mais à réaliser dans certaines conditions. Le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'aménagement durable donne des préconisations pour l'infiltration dans ces zones (Ministère de l'écologie s.d.). Lorsque le facteur de charge est fort ou qu'une infrastructure est déjà impactée, l'infiltration doit se faire à 15m du bâti. Pour les facteurs de charge plus faibles (<10), l'infiltration est possible à 2m du bâti.

La carte de retrait et gonflement a une zone tampon de 100m autour de l'emprise et d'une valeur de 0,5 pour compenser le manque de précision suite à la réduction de l'échelle.

3.5.5 Les pollutions ponctuelles

Les pollutions ponctuelles sont issues de la base de données ICPE (Installation Classées par la Protection de l'Environnement). Une ICPE est classée suivant des valeurs seuils liées à son activité et soumettant l'installation à un régime de : Déclaration (D), déclaration contrôlée (DC), Enregistrement (E) ou Autorisation (A). Les installations sont représentées sous forme de points et nécessitent de créer un tampon de 250m pour signaler la zone à risque aux utilisateurs.

Pour plus de précision, les données des bases Basias et Basol pour la pollution des sols pourraient également fournir des informations sur la pollution ponctuelle. Des essais de lixiviation sont imposés notamment pour les sites Basol avant la réalisation d'un projet d'aménagement.

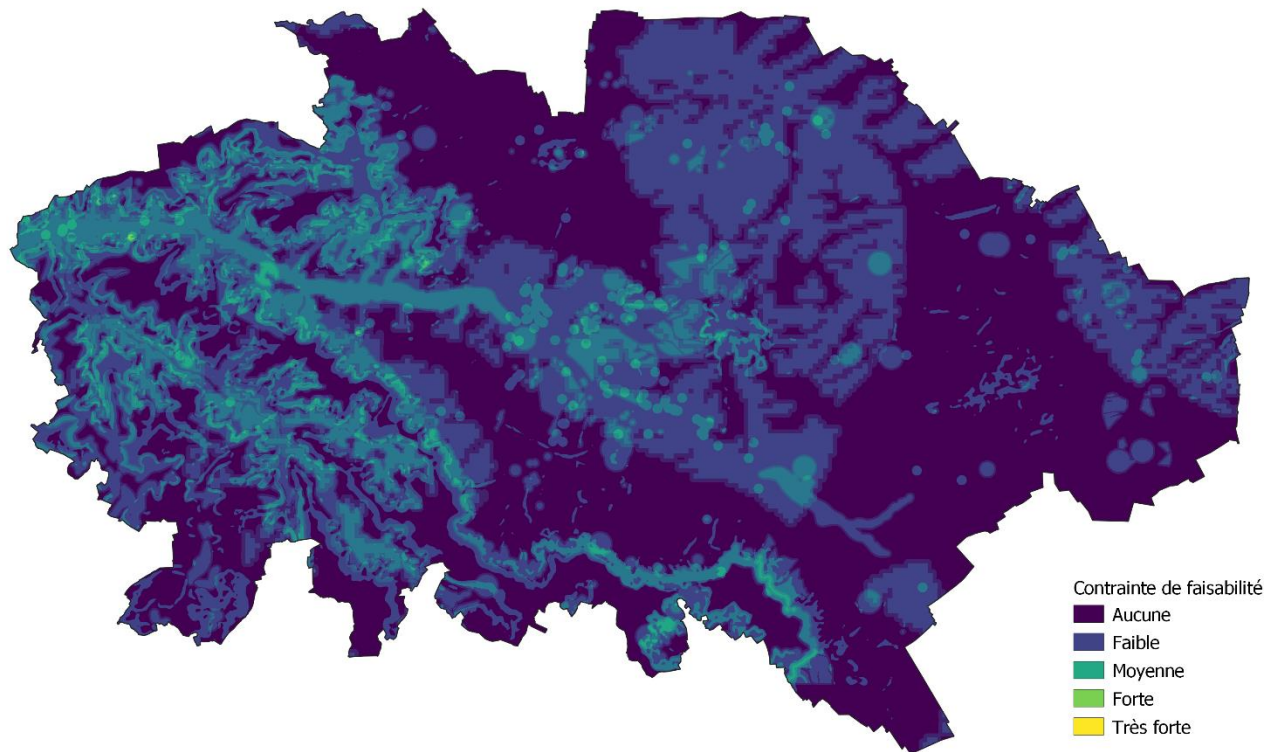
Pour vérifier la présence de pollution sur le sol, un essai de lixiviation des sols (NF-EN-12457-2) déterminera si l'infiltration peut se faire sans contaminer les eaux. Cet essai mesure la majeure partie des composants minéraux (comme les métaux lourds) mais ne prend pas les composants organiques du type hydrocarbure et produits chimiques.

3.5.6 La carte des résultats de la faisabilité

L'indicateur de faisabilité est donc une somme des paramètres de fortes pentes, des remontées de nappes, du retrait-gonflement d'argiles, de la présence de cavités et des Installations Classées par la Protection de l'Environnement. Le résultat varie entre 0 et 5. Le nombre d'indicateurs conditionne la faisabilité du projet pour

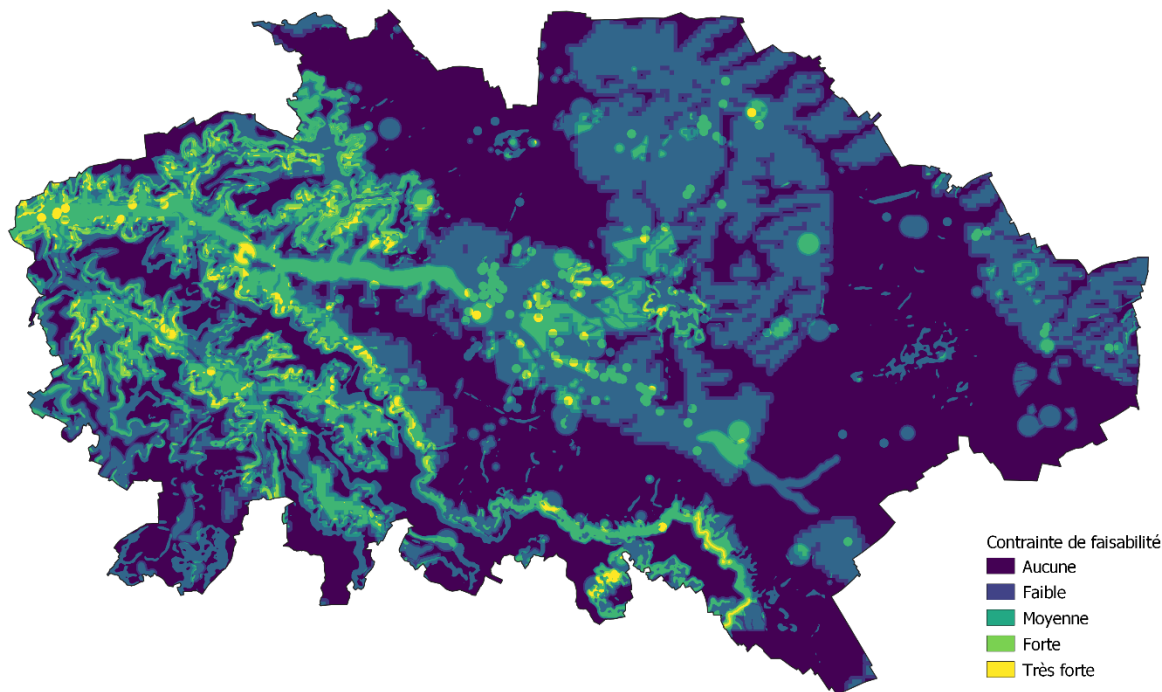
gérer les eaux de pluie. Plus le score est élevé, plus il apparaît difficile de pouvoir répondre à tous les aléas. La carte obtenue est la suivante :

FIGURE 23 CARTE DE FAISABILITE



La carte de faisabilité ne présente aucune zone comportant tous les aléas. La majeure partie du territoire n'a pas de contrainte de faisabilité ou a un faible nombre de contrainte. Les zones plus problématiques se situent principalement sur les reliefs où les pentes fortes et les argiles sont présentes. L'échelle de la donnée n'est pas appropriée et doit être réduite pour obtenir plus d'information.

FIGURE 24 CARTE DE LA FAISABILITE (ECHELLE REDUITE)



L'échelle prise en compte va de 0 à 3 problèmes rencontrés sur un même secteur. La valeur 3 est retenue car elle correspond au nombre minimale d'aléas pour lequel le rejet des eaux de pluie dans le réseau est autorisé sans aucune justification (critère de la doctrine de gestion des eaux pluviales du Plan Pluie du Grand Reims). En dessous de cette valeur, le porteur de projet devra justifier que l'infiltration est impossible pour rejeter dans le réseau. Les zones infaisables sont principalement sur les reliefs et aux alentours de la ville de Reims.

Cette carte apporte des précisions supplémentaires aux acteurs par la détermination des zones non-infiltrables d'un aménagement et permet d'orienter le projet vers un emplacement plus favorable.

3.6 Cas particulier de la construction de la ZNS

La zone non-saturée est reprise dans 2 indicateurs et influence beaucoup l'infiltration. La donnée n'étant pas disponible directement auprès des différents organismes, la construction de ce paramètre est détaillée ci-après. L'objectif est de transformer des lignes d'isopièzes en une surface représentant la nappe.

La zone non-saturée est la différence entre la plus grande hauteur de nappe et le terrain naturel. Elle correspond à la partie du sol ne contenant pas d'eau la majorité du temps (hors évènement exceptionnel). Cette zone n'est pas donnée directement sous forme de carte comme les paramètres précédents. L'établissement de cette donnée est important pour plusieurs indicateurs. Les données étant à dispositions pour le calcul de la zone non-saturée sont :

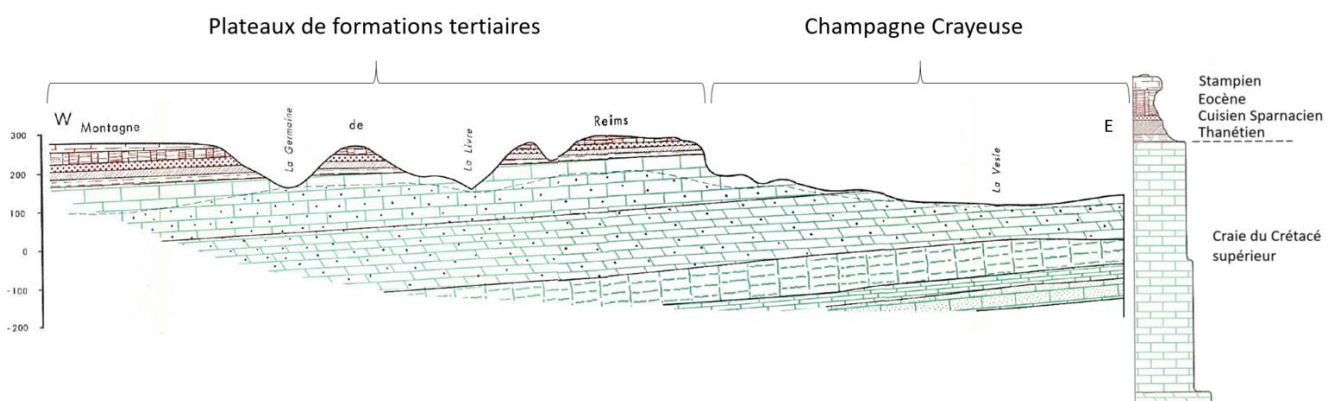
- La nappe de la Craie en Champagne Ardenne
- La nappe du Lutetien
- La nappe de l'Ypresien
- Le Modèle Numérique de Terrain (MNT).

Les données des nappes sont sous forme de lignes piézométriques fournies par le BRGM avec un pas de 5m. Les données du MNT sont précises à 5m près nécessitant pas de traitement particulier.

3.6.1 Disposition des nappes

La nappe du Lutetien et de l'Ypresien se situent sur le même secteur à l'Ouest. Elles correspondent à deux nappes recouvrant la nappe de Craie au niveau du commencement de la montagne de Reims (voir la figure ci-dessous). Elles se superposent également entre elles du fait de la présence de couches successive d'argile, de calcaire, de Marne ou de sable. Cette ensemble complexe rend difficile la définition de la ZNS.

FIGURE 25 COUPE GEOLOGIQUE PASSANT PAR L'EPERON TERTIAIRE DE LA MONTAGNE DE REIMS



Le niveau de la nappe de Craie a été établi en 2002 (ROUSEL-DAVID E. 2002). Cette date a été retenue car parmi les 4 années d'inondations causées par la nappe (1970, 1981, 2001 et 2002), l'année 2002 correspond à l'un des plus hauts niveaux observés. Les valeurs ont été relevées pendant le mois d'avril 2002 sur 9500 km² avec plus de 517 points retenues (3 ou 4 points par huitième de feuille géologique au 1/50000^{ème}) en prenant la hauteur d'eau par rapport à la cote NGF. Concernant les basses eaux, les mêmes points ont été repris mais certains étaient vides par manque d'eau (490 retenues). La campagne de mesures s'est déroulée de fin septembre à début octobre 2002.

Les nappes de l'Ypresien et du Lutetien ont été relevées lors d'une autre étude sur la partie Aisne de la couche géologique (Bault B. 2015). Les mesures ont été réalisées pour les basses eaux d'octobre à novembre 2013 et pour les hautes eaux en avril 2014. Les courbes piézométriques sont données suivant le repère NGF. Suivant le rapport du BRGM, la montagne de Reims se situe dans la zone du Tardenois où les données

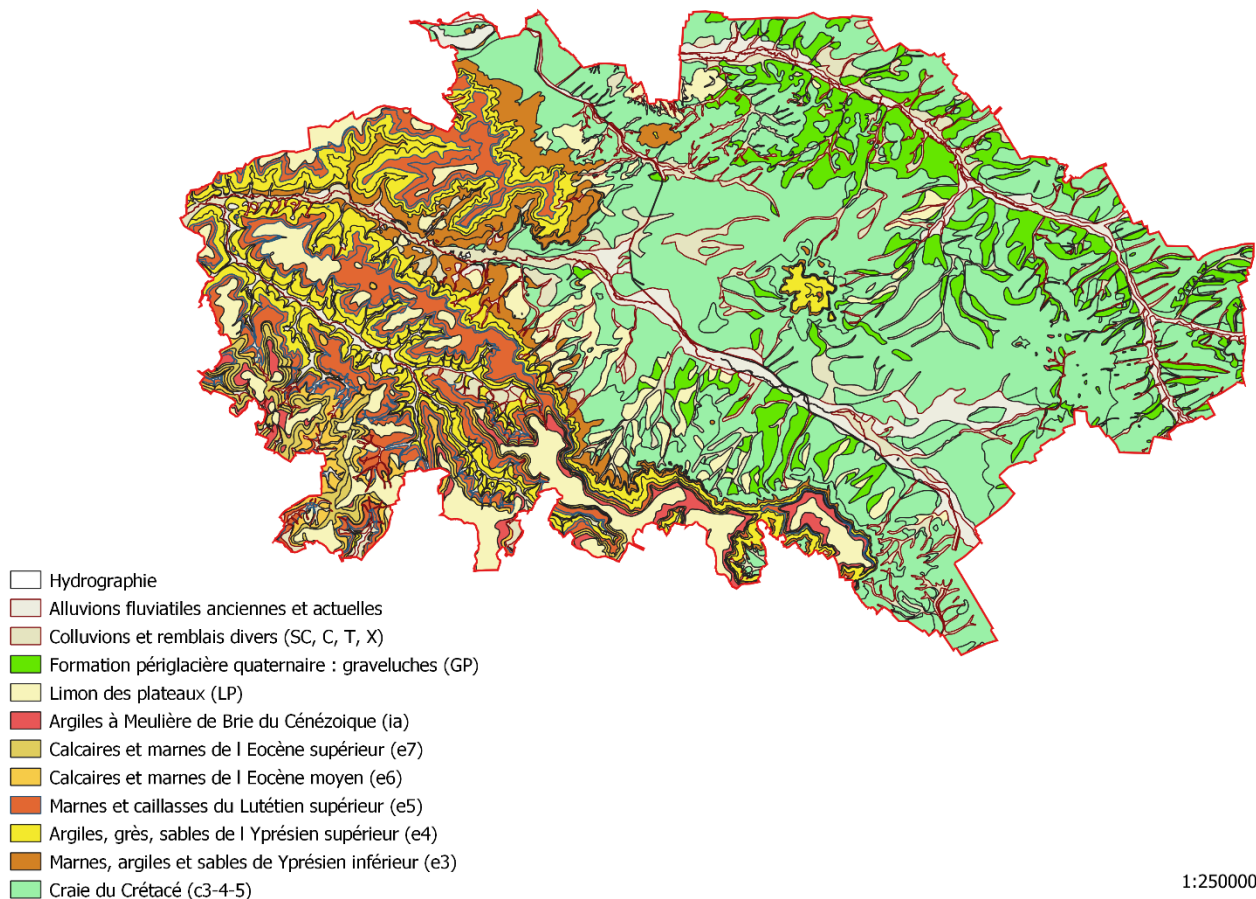
semblent plutôt fiables. Cependant, cette zone se situe à proximité du Soissonnais où les nombreuses vallées et cours d'eau rendent la donnée très imprécise. C'est aussi le cas de la montagne de Reims qui concentre une forte densité de zones humides ainsi que des changements de couches géologiques importants. Il faut faire attention à l'utilisation de la donnée dans ce secteur car peu de détails sont donnés précisément sur la zone. Il est à retenir que les nappes suivent globalement la topographie et qu'il y a peu de variation entre la période des hautes et des basses eaux.

Les trois nappes possèdent une valeur pour les hautes eaux et les basses eaux. La période des hautes eaux correspond aux mois de décembre à mai. Ces deux valeurs comparent la différence d'infiltration entre les deux périodes et peuvent établir deux cartes de perméabilité des sols pour mieux cibler le type d'ouvrage mis en place pour la gestion des eaux pluviales.

3.6.1.1 Emprise des nappes

Pour déterminer la nappe la plus haute par rapport au niveau du sol, les couches de formations géologiques sont prises comme les limites de découpage des zones d'emprise des nappes.

FIGURE 26 CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE

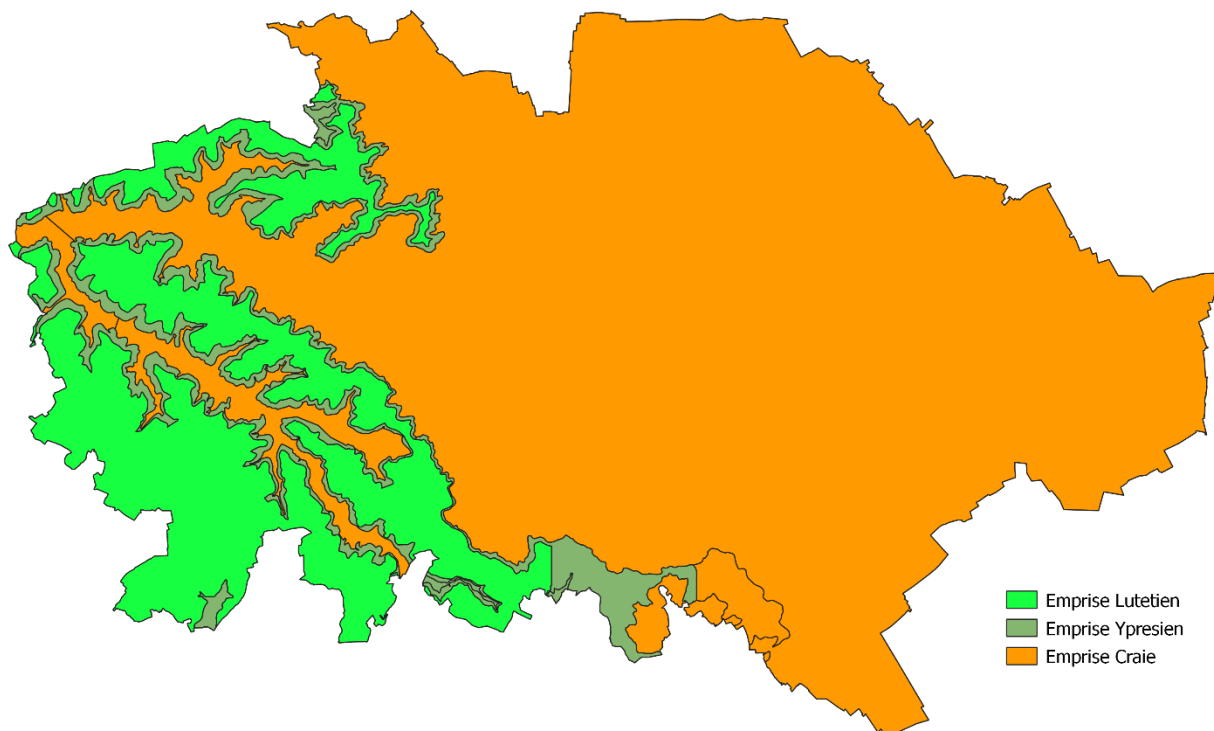


Les formations géologiques concernées sont la limite entre « Argiles silteuses, lignite, calcaire argileux (Eocène inférieur-Yprésien) » et « Sable, grès et conglomérats (Eocène inférieur-Yprésien) » correspondant à la nappe de l'Yprésien et la limite entre « Sable, grès et conglomérats (Eocène inférieur-Yprésien) » et « Sable, calcaire, Tuffeau de Damery (Eocène moyen-Lutécien) » correspondant à la nappe du Lutétien (Cf. schéma ci-dessous). Hors de ces limites, la nappe de la craie sera prise comme référence à la dernière valeur connue avant son passage en nappe captive notamment pour la zone d'argile silteuse associée à un sol perméable et servant de délimitation entre la nappe de craie et les autres nappes.

Sur le territoire, les nappes se superposent en plusieurs endroits rendant difficile la détermination de l'emprise de chacune. Pour éviter ce problème, les différentes couches géologiques donnent les limites des différentes nappes. Les couches d'argiles étant très faiblement perméables, les nappes peuvent être séparées suivant ces couches. Sur ces zones, la nappe prise en considération sera la plus basse.

Les nappes du lutétien et de l'yprésien sont séparées par la couche de « sable, calcaire, Tuffeau de Damery » et la nappe de Craie et de l'Yprésien sont découpées en fonction de la couche d'argile. L'emprise des différentes nappes permet de découper les rasters interpolés pour éviter toutes les superpositions d'information.

FIGURE 27 EMPRISE DES NAPPES



3.6.1.2 L'interpolation des nappes

L'interpolation des nappes permet d'évaluer la position des hautes et basses eaux en fonction des lignes piézométriques. Des zones ne sont pourtant pas couvertes par les lignes piézométriques. Elles se situent au niveau des cours d'eau de la Vesle et de l'Ardre. Dans ces zones sans données, il est possible de faire un recollement pour la partie se situant sur la Vesle. Les valeurs du niveau des puits (source BSS) seront prises pour combler ce vide. Pour le bras donnant sur la Vesle, la zone est composée d'alluvions. La valeur de la ZNS sera pris égale à 0 car les alluvions sont très perméables et cette zone est très humide limitant l'infiltration. Tout le secteur du Grand Reims est couvert par une donnée de nappes et peut être interpolé.

L'interpolation est un outil mathématique permettant la généralisation de données ponctuelles à l'ensemble d'un territoire. Les points de mesures sont issus de la construction des lignes piézométriques et affectés de l'altitude correspondante. Plusieurs types d'interpolations sont envisager pour le Grand Reims en passant par les fonctions de SAGA suivantes :

- Multilevel B-Spline (Seungyoung Lee 1997) donnant une approximation continue de points réparties irrégulièrement dans l'espace à l'aide de fonctions bi-cubique B-spline
- Thin Plate Spline (Belongie 2002) utilisant la fonction de spline en plaque mince pour obtenir une surface lisse la moins déformé possible.

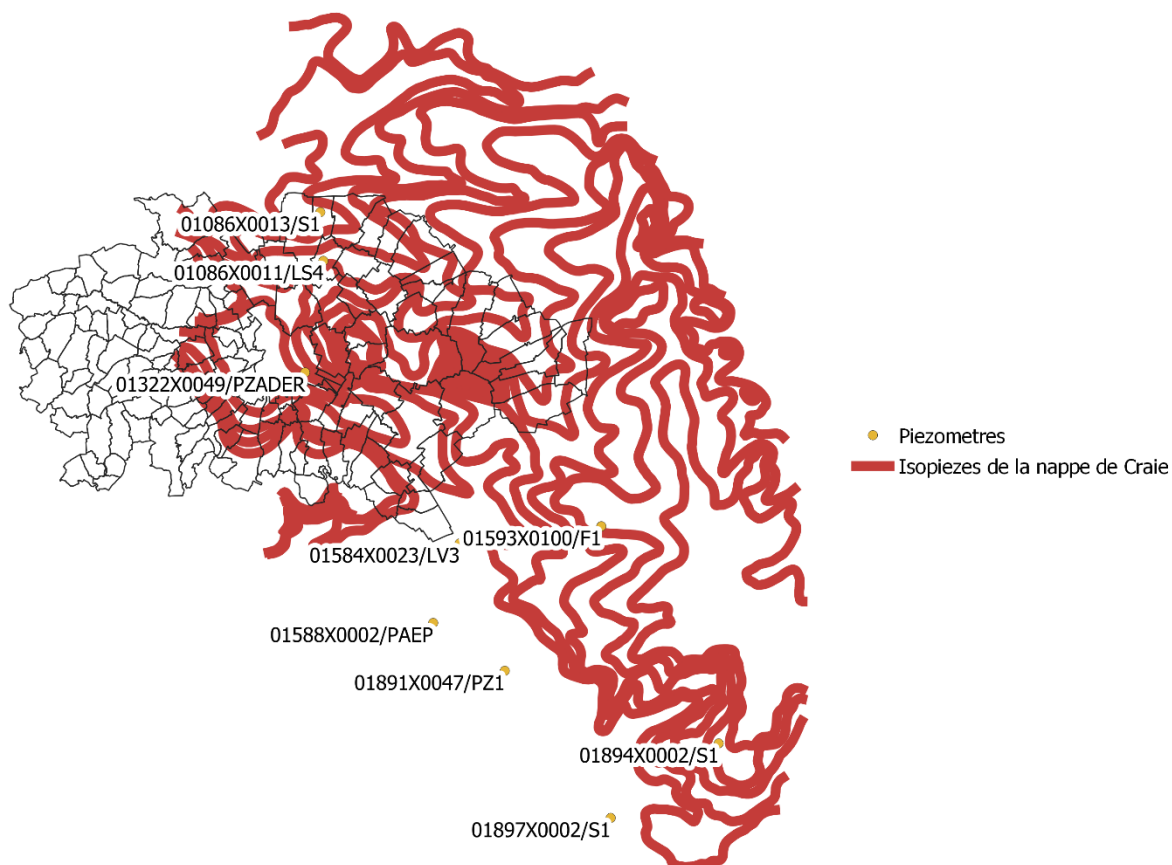
- Natural Neighbour (Quanfu Fan s.d.) prenant l'emprise des polygones de Voronoi pour déterminer la valeur des pixels.

Ces trois interpolations donnent des profils différents à la nappe de Craie. Pour déterminer la méthode la plus adaptée à l'échelle du Grand Reims, un calage suivant des valeurs fixes permet de comparer les interpolations.

3.6.1.3 Le calage du model

Le passage des lignes piézométriques au raster de la nappe se fait par interpolation des sommets des lignes. Afin de trouver l'interpolation la plus proche de la réalité, 9 puits sont sectionnés dans la base de données ADES pour vérifier le niveau d'eau présent lors des hautes et basses eaux en 2002. Ces points sont sélectionnés car ils sont présents sur l'emprise de la couche de la Craie avec 4 de ces points n'étant pas en contact direct avec les lignes d'isopièzes et que des données sont disponibles pour l'année 2002. Pour affiner la sélection, les 4 points ne sont pas sur les lignes piézométriques et ne sont donc pas retenus pour le calage.

FIGURE 28 REPARTITION DES PIEZOMETRES DE CALAGE



Le calage permet de retenir la méthode d'interpolation correspondant le mieux à l'état de la nappe. Des grandes variations sont observées entre les valeurs prises par les piézomètres et les différentes valeurs interpolées. La régularité de l'interpolation est également importante pour représenter le plus précisément les nappes.

Pour déterminer quelle méthode convient le mieux à la surface de la Craie, les différences (table complet en annexe 6.4) entre les points de mesures et les résultats des interpolations ont été observées à l'aide de la variance, l'écart type et la moyenne donnant le tableau suivant :

TABEAU 6 COMPARAISON DES METHODES

	différence BE TIN	différence BE B-spline	différence BE NN	différence HE TIN	différence HE B-spline	différence HE NN
01086X0011/LS4	-6,21	-6,09	-5,81	-6,90	-6,74	-5,72
01086X0013/S1	3,09	4,32	3,79	12,43	12,03	11,13
01322X0049/PZA	0,66	0,66	0,23	3,33	3,01	2,80
01584X0023/LV3	-5,34	-23,91	-26,76	-4,34	-10,29	-11,87
01588X0002/PAE	19,58	-36,69	-35,10	18,44	-37,72	-34,20
01593X0014/LV2				5,35	6,66	7,92
01593X0100/F1	1,72	1,68	2,96	5,61	6,92	8,18
01891X0047/PZ1	20,44	-33,60	-31,80	12,21	-32,06	-29,39
01894X0002/S1	3,07	1,73	2,22	1,77	2,19	2,47
01897X0002/S1	-1,23	-22,61		-17,82	-17,85	
moyenne	0,47	0,46	0,68	3,60	4,01	4,46
ecart type	3,87	3,90	3,86	6,30	6,32	6,01
Variance	14,97	15,24	14,89	39,74	39,91	36,13

En observant les résultats, les 4 points écartés précédemment semblent dévier beaucoup des valeurs mesurées confirmant leur exclusion.

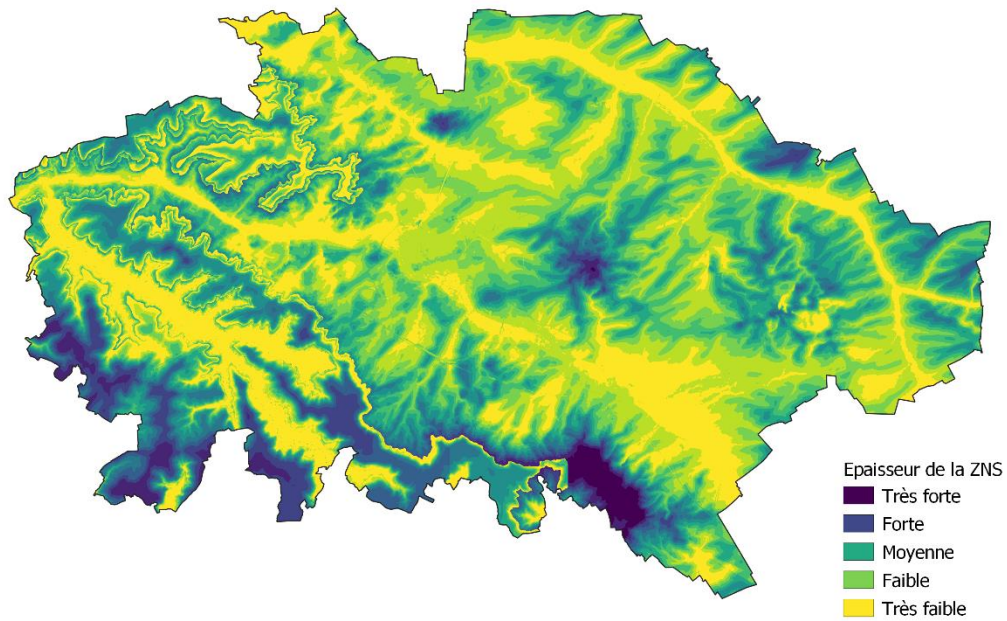
La méthode retenue sera Thin plate Splin (TIN) de par la faible variance et le faible écart type que propose la méthode. Pour les nappes de l'Ypresien et du Lutetien, la même méthode sera utilisée pour conserver un lien entre les 3 nappes. Aucuns des puits ne mesurent en continue le niveau d'eau sur ces nappes rendant impossible le calage sur cette zone.

3.6.1.4 Construction de la carte

Après ce découpage des rasters, une fusion des trois couches est réalisée pour obtenir un seul raster correspondant aux hautes eaux des nappes. Lors de cette fusion, des points du raster entre les couches des nappes sont mis à la valeur zéro. Afin d'éviter cette perte de donnée, la fonction « Remplir les valeurs nulles » est appliquée. Pour soustraire au MNT la couche de nappes fusionnées, la fonction Raster Calculator de SAGA permet de réaliser cette opération en prenant en compte une couche masque permettant d'éliminer les valeurs 0 de la couche des nappes, correspondant aux zones où il n'y avait pas de données, ainsi que les zones où le MNT est inférieur à la nappe, correspondant le plus souvent à des zones humides afin de ne pas avoir des ZNS à la hauteur du MNT. La carte obtenue donne des valeurs positives. A cela, il faut retirer également toutes les zones où la ZNS est inférieure à 1m. Cette hauteur fait référence dans la doctrine du Grand Est pour tous les ouvrages d'infiltration et, de manière plus générale, elle correspond à la profondeur moyenne d'une Noue.

Le principal souci de la carte obtenue est la plage de valeur trop grande avec un nombre de données très limité pour les fortes valeurs. Cela n'est pas représentatif de l'ensemble de la zone saturée et dégrade l'information sur la perméabilité. Les zones principalement affectées par ces valeurs se situent au niveau de la montagne de Reims et sur le mont Berru. Les données sur les nappes y sont limitées par la présence de nombreuses couches géologiques mais aussi un manque de données piézométriques précises à cet emplacement. Pour réduire la disparité des valeurs, la mise en cluster des valeurs permet de mieux représenter les catégories de profondeur. La méthode utilisée est le partitionnement en K-moyennes par Hill-climbing donnant des groupes de données homogènes tout en optimisant les calculs. La plage de valeur est donc réduite et offre un résultat plus acceptable de la ZNS. La carte obtenue est la suivante :

FIGURE 29 HAUTEUR DE LA ZONE NON-SATUREE



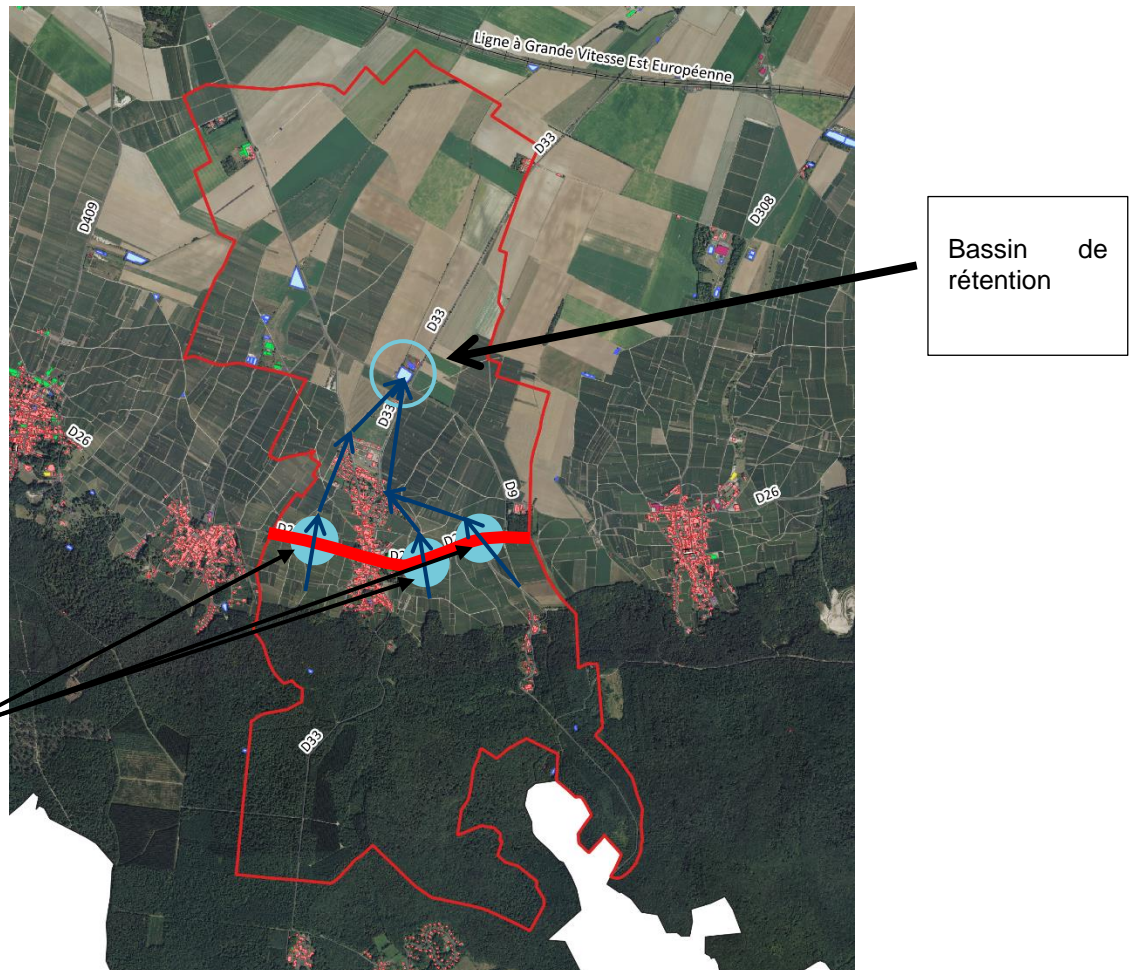
Le résultat met en évidence le réseau hydrographique des cours d'eau ainsi que les zones humides. Sur les reliefs, la zone non saturé est plus profonde que dans les plaines où la nappes est proche de la surface. Les zones incertaines sont les sauts de nappes fixés par les emprises géologiques (annexe 6.5).

4. Analyse des résultats et perspectives

4.1 L'application de l'outil au cas concret

L'ASA (Association syndicale autorisée) de Ludes est une association viticole basée sur la commune de Ludes rencontrant des problèmes de gestion des eaux pluviales sur son bassin versant. La commune de Ludes est un exemple typique de communes de la CUGR. Elle se compose d'un espace urbanisé (en rouge), d'un espace agricole (vigne et autres cultures) et d'une partie forestière au sud. Les désordres sont situés sur la D26 (en rouge) coupant le périmètre communal en deux.

FIGURE 30 COMMUNES DE LUDES

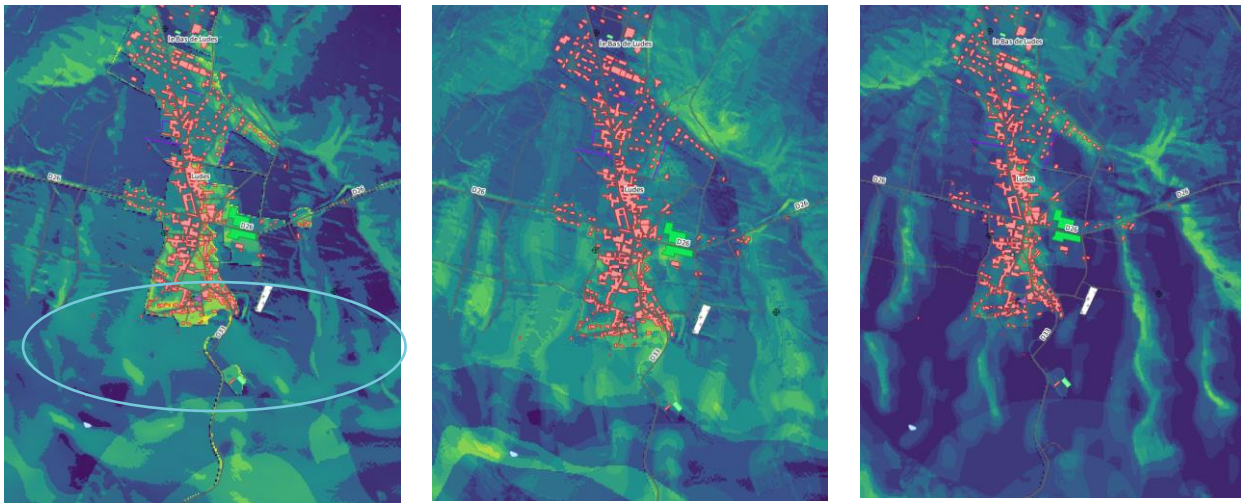


Lors de fortes pluies, la route départementale (D26) se retrouve inondée ou bloquée par des coulées de boues. Le ruissellement de la pluie provient des vignes au Sud et s'écoule vers le nord (flèches bleues) pour atteindre le bassin de rétention. Malgré les dispositifs en place (Stockage de 9000m²), le problème est toujours présent et de nouveaux travaux sont à envisager.

L'ASA de Ludes souhaite réaliser des travaux en utilisant des moyens de gestion « classiques » comme des canalisations, des chaussées bétons, des fossés, ... Les eaux de pluie sont ainsi redirigées dans le bassin se situant à l'aval avec un agrandissement de ce dernier.

Pour agir en utilisant les nouvelles méthodes de gestion du Grand Reims, l'étude des problèmes de ruissellement permet d'obtenir un état des lieux de la situation. Avec l'analyse du ruissellement donnée par la méthode à scores faite pour le Grand Reims, les zones de production, de transfert et d'accumulation du ruissellement sont déterminées :

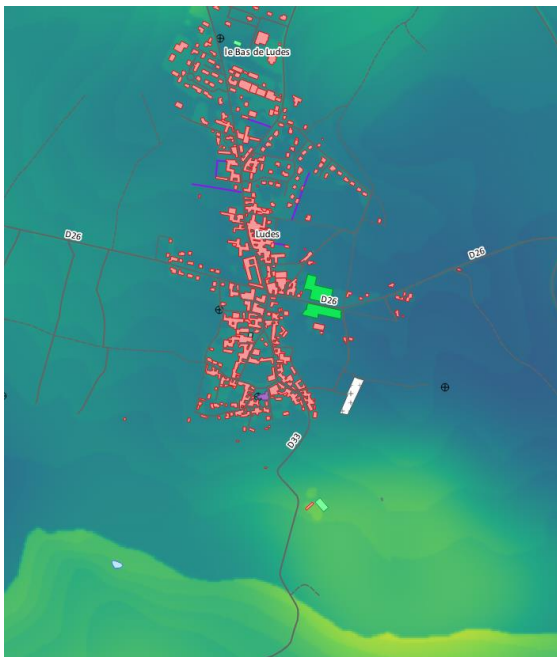
FIGURE 31 CARTES DE LA PRODUCTION, DU TRNSFERT ET DE L'ACCUMULATION



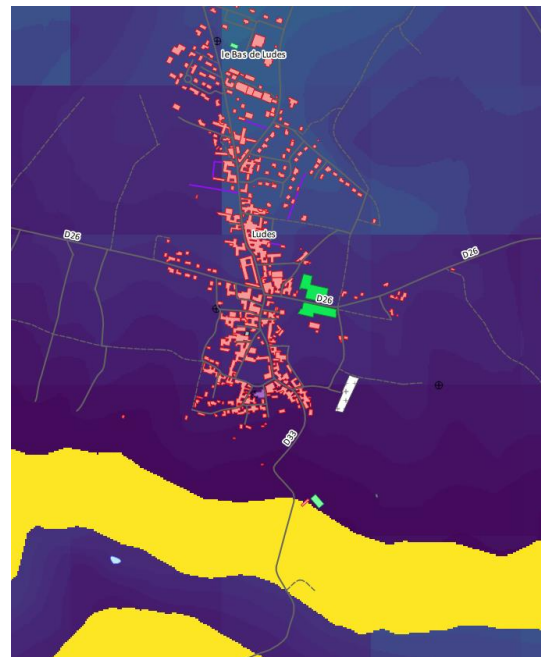
Les zones de production du ruissellement se situent en amont de la ville au Sud de la carte. L'eau s'écoule ensuite suivant les chemins agricoles bétonnés pour être collectée dans le bassin en aval. Afin de réduire les problèmes liés aux ruissellements, l'infiltration et la mise en place de solutions fondées sur la nature seront positionnées de manière à limiter le ruissellement à la source ou de le gérer dans les zones à enjeux. Les cartes obtenues pour la tendance à l'infiltration sont les suivantes :

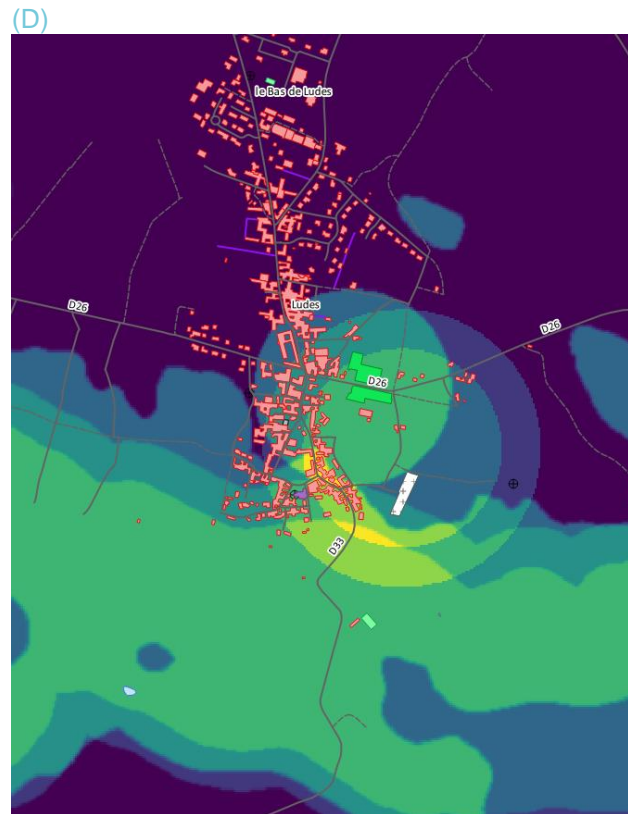
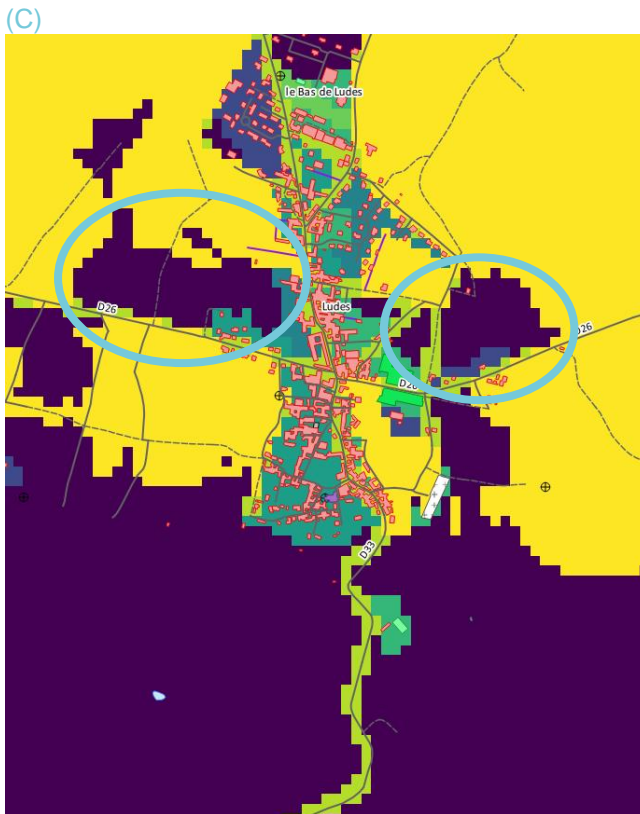
FIGURE 32 CARTES DE LA CAPACITE DE CIRCULATION (A), DE LA CAPACITE DE RETENTION (B), DES PRESSIONS POLLUANTES (C) ET DE LA FAISABILITE (D)

(A)



(B)





Les zones ayant une capacité à l'infiltration se situent aux alentours de la départementale D26. La faisabilité des ouvrages ne pose pas de soucis sauf à proximité des bâtiments agricoles en vert (présence de cave de champagne). Au niveau de la pression anthropique, deux zones ne semblent pas impactées. La mise en place d'ouvrage dans ces zones permettrait de limiter la pression exercée sur le bassin en aval et d'ainsi déplacer la gestion du problème plus proche de la source.

L'outil d'aide à la décision a permis de mettre en avant des emplacements potentiels de solutions fondées sur la nature pour répondre au problème de gestion des eaux pluviales de l'ASA de Ludes. Les mesures réalisées sur le terrain permettront d'obtenir des valeurs précises de perméabilité pour dimensionner les ouvrages sélectionnés.

4.2 Les réponses pour la gestion des eaux pluviales

La perméabilité sur le territoire du Grand Reims est définie de manière locale par l'essai en profondeur de Lugeon et l'essai en surface de la doctrine de Portland. Ces valeurs de perméabilité obtenues s'inscrivent dans la doctrine qui va être mise en place sur le Grand Reims et dans le dimensionnement des ouvrages avec l'utilisation de PARAPLUIE. Ces essais ne permettent pas de répondre aux grandes échelles du territoire pour l'aide à la décision dans l'aménagement.

Les cartes d'estimations sont une source utile de données pour l'infiltration mais ne tiennent pas compte de l'aspect multifonctionnel. L'utilisation est alors détournée pour fournir tous les éléments nécessaires au choix de la mise en place d'ouvrages infiltrants.

L'outil d'aide à la décision pour l'infiltration, fondé sur une méthode à scores, permet de caractériser l'infiltration à l'échelle du territoire. En tenant compte des différentes propriétés du sol, la caractérisation de la perméabilité donne les tendances de l'infiltration sur le territoire. Les autres problèmes liés à la réalisation d'ouvrage et aux pressions anthropiques mettent en avant les aléas pouvant impacter l'infiltration. En réponse aux enjeux du Grand Reims, les cartes obtenues permettent :

- Une gestion intégrée :

La donnée est disponible pour tout le territoire avec une échelle minimale au 1/10 000^{ème}. Cette précision apporte les informations souhaitées au plus proche du projet afin de choisir le meilleur emplacement pour les ouvrages. La tendance à l'infiltration permet la comparaison de zones dissociées dans la CUGR pour offrir un choix simple d'emplacement. Les différentes informations apportent des solutions pour traiter les eaux de manière multifonctionnelle.

- Une gestion résiliente :

L'utilisation de la méthode à scores permet un changement simple des indicateurs. Si des études plus détaillées sont apportées localement, l'information obtenue est modifiable pour l'emprise souhaitée. L'évolution du territoire est prise en compte pour une meilleure adaptation aux changements. Les Solutions fondées sur la Nature apportent une réponse adaptée aux effets du réchauffement climatique. La qualité et la quantité d'eau infiltrée sont conservées voire augmentées et fournissent un confort de vie pour les habitants (nature en ville, réduction des îlots de chaleurs, ...)

- Une gestion au service de la population :

Les données liées à l'infiltration sont fournies de manière simple avec des indicateurs variant de 0 à 1 (ou 5 pour la faisabilité) où 0 correspond aux zones favorables à l'infiltration et 1 les zones défavorables. La tendance renseigne les porteurs de projet sans connaissance particulière. L'outil PARAPLUIE peut être alimenté par des données pour une précision dans le choix des solutions.

- Une gestion partagée :

Le choix des indicateurs permet de confronter les acteurs aux solutions les plus adaptées à déployer sur le terrain. Il permet d'indiquer, sur le bassin versant, au gestionnaire quelles solutions sont envisageables en cas de conflits pour prendre la décision la plus adaptée à la gestion des eaux de pluie.

Associé au ruissellement, il est possible d'établir un diagnostic d'une zone où les eaux de pluie posent de réels problèmes. Les données sont exploitables pour la détermination d'une tendance à l'infiltration mais ne donnent pas des valeurs estimées de perméabilité pour alimenter les outils numériques de dimensionnement.

4.3 Conclusion

La méthode à scores montre certaines limites dans la détermination de l'infiltration. Pour le dimensionnement des ouvrages, la valeur de la perméabilité doit être connue dans le but d'alimenter le logiciel PARAPLUIE pour répondre à l'enjeu du service à la population. Cette donnée ne peut être obtenue par la carte de tendance mais par la réalisation d'une mesure de terrain. La connaissance de la perméabilité avant la réalisation de mesure serait un véritable avantage pour l'outil Parapluie.

Pour préciser la donnée et obtenir une valeur précise de perméabilité sur le territoire, l'utilisation de l'étude sur la représentation des paramètres du sol en 3 dimensions à l'échelle de l'Europe semble fournir les informations nécessaires pour une intégration dans l'outil Parapluie. L'information sur la perméabilité en profondeur offre plus de possibilité dans le dimensionnement de solutions fondées sur la nature.

La comparaison entre les paramètres 3D du sol et la capacité d'infiltration est en cours de réalisation et sera présentée prochainement. Elle permettra ainsi de déterminer si son usage à l'échelle de la Communauté Urbaine du Grand Reims est réalisable.

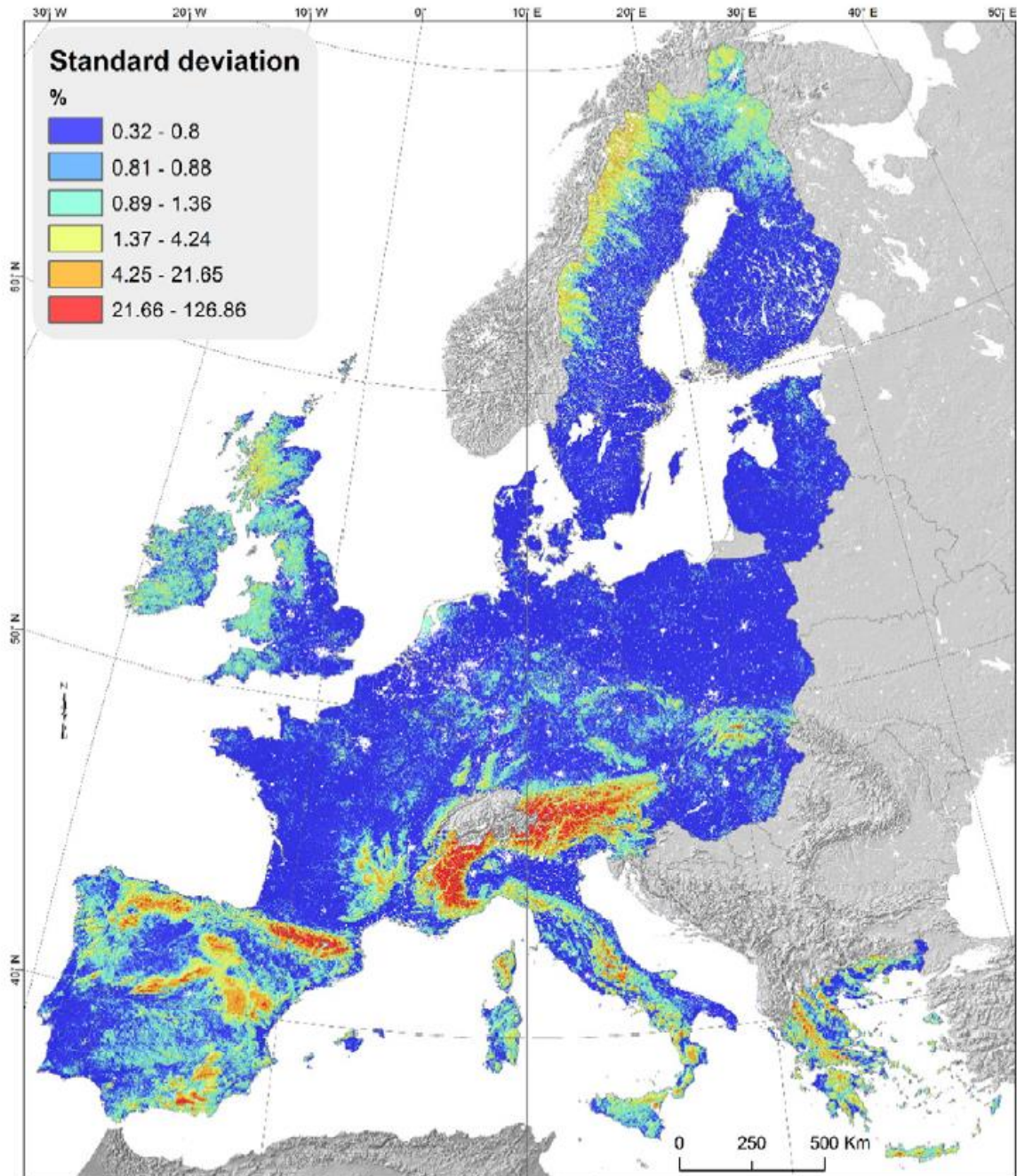
5. Bibliographie

- Bault B., Bourguin B., Loiselet C., et Anquetil E. *Cartes piézométriques basses eaux 2013 et hautes eaux 2014 des nappes du Lutétien et de l'Yprésien supérieur dans le Bassin parisien*. Rapport BRGM/RP-64887-FR, BRGM, 2015.
- Belongie, Gianluca Donato and Serge. «Approximation Methods for Thin Plate Spline Mapping and Principal Waprs.» 2002.
- BORMANN. «Analysis of the suitability of the German soil texture classification for the regional scale application of physical based hydrological model.» *Advances in Geosciences*, 2007.
- Brigitta Toth, Melanie Weynants, Laszlo Pastor, Tomislav Hengl. *3D soil hydraulic database of Europe at 250 m resolution*. Wiley, 2017.
- Craste de Paulet F., Desprats J.F., Bouzit M., Sedan Miegemolle O. «Outil d'aide à la décision pour la gestion des eaux pluviales en Rhône-Alpes.» *NOVATECH 2019*. 2019.
- Cristiano Ballabio, Panos Panagos, Luca Monatanarella. *Mapping topsoil physical properties at European scale using the Lucas database*. Ispra: Geoderma, 2016.
- DEHOTIN, J., P. BREIL, et CEMAGREF. «Projet IRIP : Rapport technique.» 2011.
- Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'aménagement durable. «Le retrait-gonflement des argiles.» s.d.
- Noël Y., Henry MC. «Pollution liée aux chantiers de rénovation des voies ferroviaires Approche bibliographique.» Rapport BRGM RP-55575-FR, 2007.
- Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique. *Des Solutions fondées sur la Nature pour s'adapter au changement climatique*. Rapport au Premier ministre et au Parlement, Paris: La documentation Française, 2019.
- Quanfu Fan, Alon Efrat, Vladlen Koltun, Shankar Krishnan. «Hardware-Assisted Natural Neighbor Interpolation.» s.d.
- ROUSEL-DAVID E., BATKOWSKI D., BAUDOIN V., CORDONNIER G., CUBIZOLLEs J., HERROUIN J.P., IZAC J.L., JEGOU J.P., KIEFFER C., MARDHEL V., PAYA H. *Cartographie de la piézométrie de la nappe de craie en Champagne-Ardenne*. Rapport BRGM/RP-52332-FR, BRGM, 2002.
- Seungyoung Lee, George Wolberg, ans Sung Yong Shin. «Scattered Data Interpolation with Multilevel B-Spline.» Dans *Transactions on visualization and computer graphics*, de IEEE. 1997.

6. Annexes

6.1 Fiabilité de la donnée à l'échelle de l'Europe

FIGURE 33 CARTE DES FIABILITE A L'ECHELLE DE L'EUROPE (SOURCE ESDAC)



6.2 Compte rendu du rapport des Aires d’Alimentation de Captages (AAC).

6.2.1 Les produits chimiques dans les masses d’eau

TABLEAU 7 TABLEAU DE SYNTHESE DES RESIDUS DE PESTICIDES RETROUVES DANS LES EAUX SOUS-TERRAINES DES AAC (SOURCE : ETUDES DTMP DES AAC)

Aire d’Alimentation de Captage	Année de l’Etude	Pesticides retrouvés	Risque de non potabilité (Norme de 0.1 µg/L par molécule et 0.5 µg/L pour leur somme)
Couraux	2006	Atrazine et dérivés, simazine, terbumethon et dérivés	
Fléchambault	2009	Atrazine et dérivés, simazine, terbumethon et dérivés	
Gueux	2009	Atrazine, déséthylatrazine et simazine	Faibles teneurs et peu de molécules détectées
Auménancourt	2012	Atrazine, déséthylatrazine et simazine	Faibles teneurs et peu de molécules détectées
Villers-aux-Nœuds	2014	Terbutylazine, Atrazine et dérivés	
Ormes-Thillois	2015	Atrazine, diuron, terbuthylazine, oxadixyl, 2,6-Dichlorobenzamide, isoproturon, inuron, simazine, terbumeton	Concentrations en dessous des limites de qualité
Beaumont-sur Vesle	2015	Atrazine et ses dérivés, terbuméton, 2,6-Dichlorobenzamide, oxadixyl	Dépassements fréquents de la norme de 0.5 µg/L
Pontfaverger	2018	Oxadixyl, simazine, dérivé du terbuméton	Inférieur aux normes
Muizon	2018	2,6 Dichlorobenzamide, atrazine et dérivés, hexazinone	
Les Petites Loges	2018	Bentazone, éthofumésate, lénacile, atrazine et dérivés, terbuméthon et dérivés, terbuthylazine, tébuconazole, chlorate de sodium, cyanazine	Dépassements fréquents de la norme de 0.5 µg/L. Dépassements individuels fréquents pour le bentazone, l’éthofumésate et le lénacil (> 0.1µg/L)
Tramery	2018	Atrazine, simazine et leurs dérivés, le 2,6-Dichlorobenzamide et Bentazone	Rares dépassements des limites de qualité
Romigny	2018	Atrazine et ses dérivés, Bentazone	Dépassements fréquents de la norme de 0.1 µg/L pour les dérivés de l’atrazine

L'atrazine et ses dérivés, ainsi que la simazine et le terbuméton, bien qu'interdits depuis 2003, sont omniprésents. Ces molécules présentent une forte rémanence dans l'environnement, d'autant plus lorsque l'épaisseur de la couche non saturée du sol est importante.

6.2.2 Les pollutions organiques

Les teneurs en nitrates connues sur les ressources et la surface de culture identifiée à fort reliquat de fin de culture dans les AAC sont repris ci-dessous. Les cultures identifiées avec de forts reliquats de fin de culture couvrent de 18 à 35% de la surface des AAC.

Nom AAC	Surface totale	Culture à fort RFC selon les études d'AAC	Surface de culture à fort RFC (RPG2017)	% de la Surface totale	Concentrations en Nitrates de la ressource lors de la création de l'AAC (mg/L)	Captage listé comme > 50 mg/L Nitrates dans le SDAGE 2016-2021
Tramery	195 ha				30	
Romigny	504 ha				30	
Muizon	754 ha				35 à 42	
Les Petites Loges	1 508 ha				35 à 45	
Ormes Thillois	1 772 ha	Orge, Maïs, Betterave	433 ha	25%	Ormes : 30 à 35 Thillois : 48 à 52	
Gueux	2 259 ha	Blé tendre, Orge	788 ha	35%	30 à 45	
Pontfaverger	2 367 ha				30 à 45	
Villers aux Nœuds	2 550 ha	Blé tendre, Orge de printemps, Colza	456 ha	18%	35 à 45	oui
Auménancourt	3 208 ha				46 à 49	
Couraux	7 077 ha				30 à 35	oui
Flechambault	8 212 ha				40 à 53 sur trois puits	oui
Beaumont-sur-Vesle	9 101 ha	Blé tendre, Orge de printemps	1978 ha	22%	35 à 45	

Il apparaît que les Reliquats de fin de culture sont souvent excédentaires pour les cultures de blé tendre, d'escourgeon (orge d'hiver) et d'orge de printemps. Le blé et l'orge sont les cultures majoritaires sur le territoire du Grand Reims et dispersées sur tout le territoire hormis les zones urbanisées et les zones à reliefs (Montagne de Reims, versants du Tardenois). La surfertilisation de ces cultures est donc un risque global sur tout le territoire, sans compter les autres cultures ponctuellement pointées dans l'une ou l'autre AAC (colza, maïs, betterave).

6.3 Emprise des aléas de l'infiltration

FIGURE 34 CARTE DE PRESENCE DES PENTES FORTES



FIGURE 35 CARTE DE PRESENCE DE CAVITES



FIGURE 36 CARTE DE PRESENCE DES REMONTEES DE NAPPES

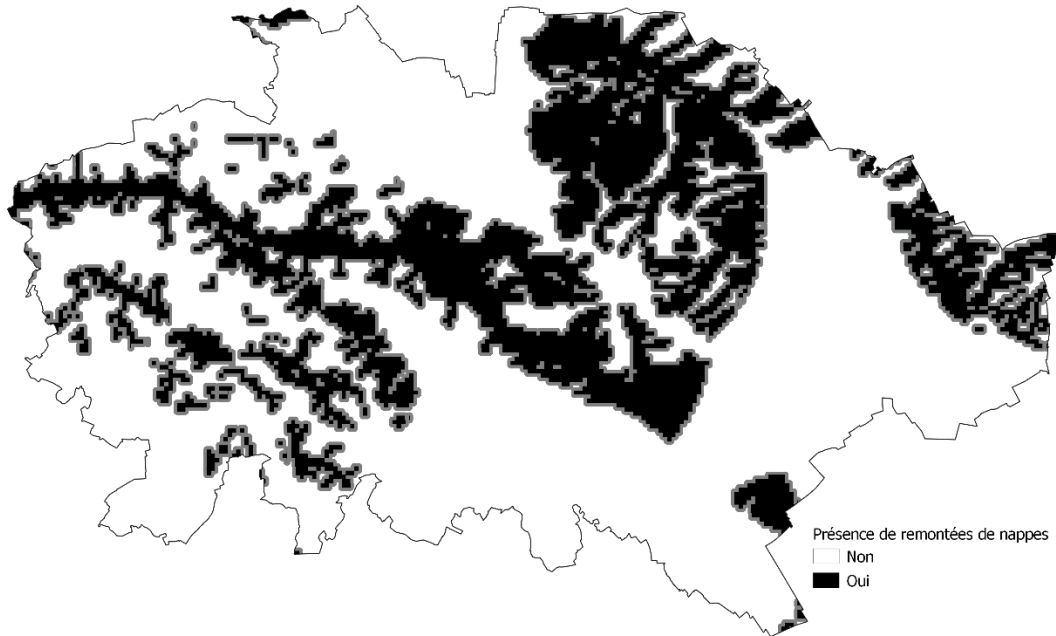


FIGURE 37 CARTE DE PRESENCE DE L'AELA RETRAIT GONFLEMENT D'ARGILE

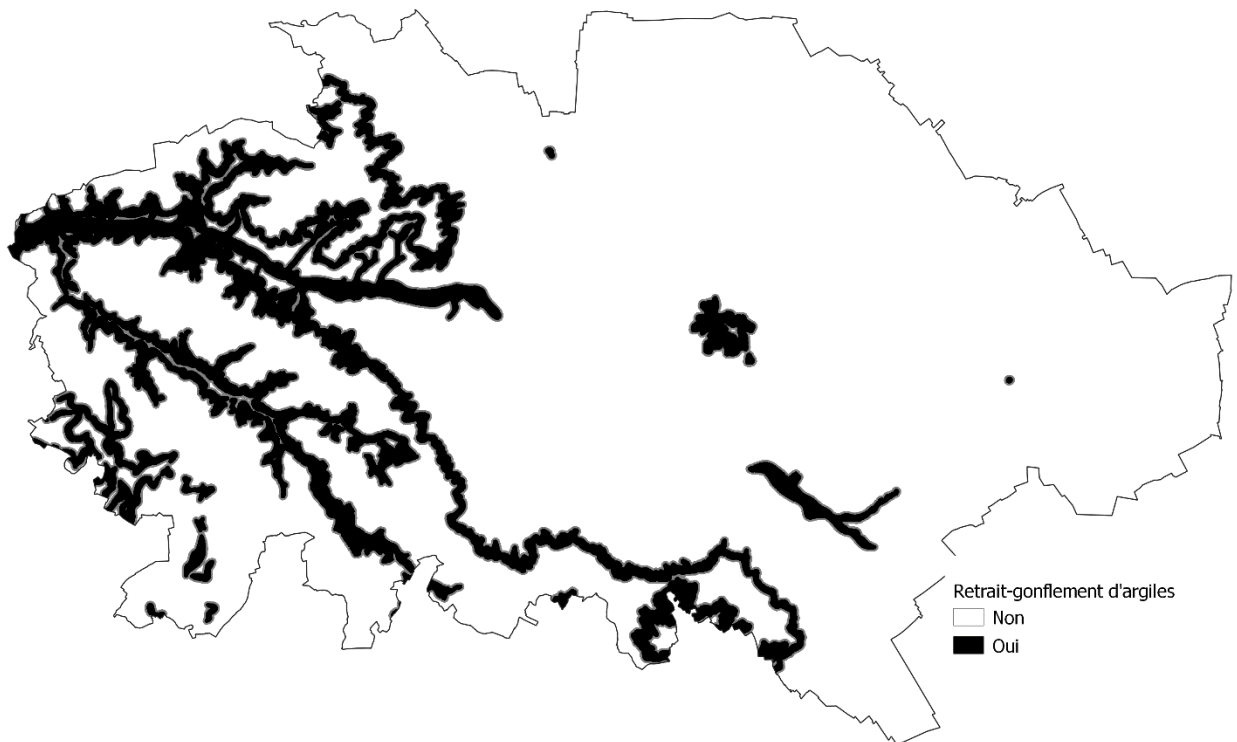


FIGURE 38 CARTE DE PRESENCE DES PRESSIONS POLLUANTES



6.4 Valeurs pour le calage de la ZNS

FIGURE 39 TABLEAU DES HAUTEURS DE LA NAPPE DE CRAIE

Puits	Nappe de Craie							
	mesure BE	Thin Plate Spline BE	B-spline BE	Natural Neighbour BE	mesure BHE	Thin Plate Spline HE	B-spline HE	Natural Neighbour HE
01086X0011/LS4	72,69	78,90107727	78,78289795	78,5	80,79	87,6876297	87,52766419	86,51
01086X0013/S1	70,96	67,86524963	66,64374542	67,17	81,13	68,69692993	69,10479736	70
01322X0049/PZA	81,37	80,7102356	80,70635986	81,14	85,05	81,72388458	82,04322052	82,25
01584X0023/LV3	83,24	88,57687378	107,1487808	110	98,13	102,4715881	108,4159775	110
01588X0002/PAE	74,9	55,32295609	111,5924835	110	75,8	57,35517502	113,5243759	110
01593X0014/LV2		131,2392883	131,2780609		147,92	142,574646	141,2602539	140
01593X0100/F1	132,96	131,2392883	131,2780609	130	148,18	142,574646	141,2602539	140
01891X0047/PZ1	78,2	57,75986099	111,7996368	110	80,61	68,39644623	112,6714401	110
01894X0002/S1	136,57	133,5004425	134,8353882	134,35	147,55	145,7815857	145,3601685	145,08
01897X0002/S1	89,8	91,02572632	112,4082336		91,48	109,2983475	109,3258362	

6.5 Saut de nappes visible sur la ZNS

