



FONDATION D'ENTREPRISE

**FEREC**

# Projet Road&Eau – Stratégies de désimperméabilisation des surfaces revêtues

---

Fondation d'entreprise FEREC

Appel à projets 2019 : Résilience et acceptation : quels outils pour les infrastructures ?



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



**Ce rapport a été rédigé par plusieurs équipes du Cerema.**

*Pilotage :*

Marie Colin

*Rédaction & travaux associés :*

Emmanuel Berthier

Manuel Collongues

Emmanuel Delaval

Bruno Kerloc’h

Delphine Porcheron

David Ramier

Vincent Rémy

Laurent Sylvestre

*Ont également participé aux travaux en qualité de stagiaire au Cerema :*

Lamia Djebra

Marion Panien

## Table des matières

1.	Du cycle de l'eau naturel aux problématiques de gestion des eaux pluviales urbaines .....	4
1.1.	Le grand cycle de l'eau .....	5
1.2.	Rappels historiques sur l'urbanisation et les problématiques de gestion de l'eau .....	6
1.3.	Les modifications du cycle de l'eau liées à l'urbanisation.....	7
2.	Les villes éponges : une réponse face aux problématiques liées à la désimperméabilisation .....	9
2.1.	Les modifications du cycle de l'eau dues à l'imperméabilisation font peser de nombreuses menaces dans les zones urbaines .....	9
2.2.	Le changement climatique amplifie les menaces liées à l'eau en ville .....	9
2.3.	Des villes éponges pour mieux gérer les eaux pluviales .....	10
3.	Bénéfices de la désimperméabilisation des surfaces revêtues pour leurs gestionnaires.....	12
3.1.	Des bénéfices budgétaires et en matière de qualité de service .....	13
3.2.	Bénéfices relatifs à l'aménagement du territoire et au cadre de vie.....	13
3.3.	Des enjeux réglementaires et financiers.....	14
4.	Matériaux et techniques de désimperméabilisation, avantages et inconvénients .....	15
4.1.	Généralités sur les matériaux et techniques de désimperméabilisation de surfaces revêtues	15
4.2.	Principaux matériaux.....	16
4.2.1.	Les enrobés poreux .....	16
4.2.2.	Les polymères.....	16
4.2.3.	Les bétons drainants coulés en place ou produits préfabriqués.....	19
4.2.4.	Les granulats drainants.....	19
4.2.5.	Le gazon naturel "renforcé" .....	19
4.3.	Principales techniques.....	20
4.3.1.	Les chaussées à structure réservoir .....	20
4.3.2.	Les noues et fossés végétalisés .....	22
4.3.3.	Les tranchées drainantes.....	23
4.3.4.	Les puits.....	24
4.3.5.	Les bassins .....	26
5.	Etapes de définition et mise en œuvre d'une stratégie de désimperméabilisation .....	27
5.1.	Les principales étapes de définition et mise en œuvre d'une stratégie de désimperméabilisation pour les gestionnaires de surfaces revêtues .....	27
5.2.	Définition du niveau de désimperméabilisation souhaité (étape 1).....	29
5.3.	Caractéristiques des sites à désimperméabiliser indispensables pour le choix des solutions techniques (étapes 4 et 5).....	30
5.3.1.	Topographie, hydrographie et morphologie du site .....	31

5.3.2.	Type de surface revêtue, usages et contraintes.....	32
5.3.3.	Type de milieu naturel présent et sensibilités .....	34
5.3.4.	Caractéristiques des sols revêtus .....	35
5.3.5.	Paramètres pluviométriques .....	36
5.4.	Points d'attention relatifs à la gestion des ouvrages de désimperméabilisation (étape 7)..	37
5.5.	Accompagner la vie des sites désimperméabilisés à l'échelle du bassin versant (étape 8)..	39
5.6.	Mobiliser les leviers réglementaires en faveur de la désimperméabilisation (étape 9) ...	39
6.	Conclusion .....	41
	Bibliographie.....	42
	Annexe : base d'une méthode d'analyse cartographique de la vulnérabilité des réseaux face au ruissellement.....	46
1.	Introduction.....	46
2.	Ruissellement : définitions et territoire d'étude .....	46
2.1.	Définitions .....	46
2.2.	Territoire d'étude .....	48
3.	Méthode d'analyse de la vulnérabilité.....	49
3.1.	Caractérisation de la sensibilité du territoire à générer du ruissellement.....	49
3.2.	Modalité de définition des axes de transport .....	53
3.3.	Définition de la vulnérabilité des axes .....	53
3.4.	Types de vulnérabilité définis.....	56
4.	Problématique des zones urbaines .....	58
5.	Conclusion .....	58
	Table des illustrations.....	59

Avec le développement des zones urbanisées, les surfaces imperméabilisées ont augmenté. L'imperméabilisation des sols modifie les possibilités d'infiltration des eaux pluviales dans les sols et ainsi, le cycle naturel de l'eau (chapitre 1).

Ces effets impactent en retour les zones urbanisées de différentes façons : augmentation du risque de ruissellement, dégradation de la biodiversité et des services écosystémiques rendus par les sols, augmentation du phénomène d'îlot de chaleur urbain, etc. Ces impacts seront très probablement aggravés par les effets du changement climatique. De nombreux acteurs de l'aménagement des villes se sont penchés sur la question de l'amélioration de la résilience des villes face aux impacts liés aux eaux pluviales et ont développé récemment un concept original : celui des « villes éponge » (chapitre 2).

Avec la naissance de ce concept, la désimperméabilisation est devenue un enjeu majeur pour les acteurs de l'aménagement des villes. Celle-ci peut en particulier cibler les surfaces revêtues : voiries, trottoirs, places publiques, etc., qui représente une surface importante des villes (chapitre 3). Les bénéfices de la désimperméabilisation de ces surfaces peuvent être multiples : améliorer la gestion de l'eau à la source et favoriser l'infiltration des eaux pluviales ; renforcer la résilience des voiries et réseaux d'eau aux inondations dans un contexte de changement climatique, diminuer leurs vulnérabilités et donc, les dépenses de travaux ; construire en limitant l'imperméabilisation des sols pour préserver la nature et les services écosystémiques ; exploiter les surfaces de type voiries en réduisant la pollution par ruissellement pour garantir une bonne qualité des eaux, etc.

De nombreuses solutions techniques de désimperméabilisation existent : revêtements poreux, noues, chaussées à structure réservoir, etc. Ces matériaux et techniques comportent différents avantages et inconvénients qu'il est utile de connaître pour mener à bien un projet de désimperméabilisation (chapitre 4).

Malgré cette diversité de solutions, il peut être délicat pour les gestionnaires de surfaces revêtues de choisir celles les plus adaptées aux problématiques rencontrées. Il existe en effet peu d'outils d'aide à la décision pour définir des stratégies optimisées. Ce rapport vise à aider les gestionnaires à construire des stratégies appropriées (chapitre 5).

## 1. Du cycle de l'eau naturel aux problématiques de gestion des eaux pluviales urbaines

L'eau est apparue sur Terre il y a 3 à 4 milliards d'années. Elle y est en circulation permanente, où elle évolue à volume constant sous différentes phases au niveau de l'atmosphère, de la surface de la Terre et dans son sous-sol. Cette circulation permanente avec changement de phases est appelée « grand cycle de l'eau ».

Elle constitue une ressource indispensable pour les activités humaines mais représente aussi une source de risque, c'est pourquoi de nombreux aménagements de gestion des eaux pluviales ont été réalisés depuis plusieurs siècles.

Ces aménagements, en particulier dans les zones urbaines, modifient le cycle naturel de l'eau et génèrent de nouvelles problématiques.

## 1.1. Le grand cycle de l'eau

La Terre est constituée à 70 % d'eau, présente dans différents réservoirs et des formes variées : nuages, pluies, lacs et océans, nappes phréatiques, etc. Cette eau passe d'un réservoir à un autre et d'une phase à une autre au cours du grand cycle de l'eau.

Ces réservoirs sont (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et al., sans date) :

- L'atmosphère, où l'eau est présente sous forme de vapeur d'eau
- Les mers et océans, qui représentent environ 96,5 % du volume total de l'eau sur Terre
- Les fleuves, rivières et autres cours d'eau, qui collectent les eaux de pluie et se jettent dans les mers et océans
- Les lacs et autres réservoirs de surface, alimentés par des réserves telles que les cours d'eau
- Les zones humides : lagunes, mangroves, marécages et tourbières par exemple
- Les glaciers et la neige, qui constituent une réserve d'eau sous forme solide
- Les eaux souterraines, dont les nappes phréatiques
- Et enfin, les organismes vivants, qui constituent le plus petit réservoir d'eau terrestre en volume

L'eau circule d'un réservoir à un autre plus ou moins rapidement. Le temps de résidence de l'eau dans ces réservoirs varie de plusieurs milliers d'années pour les océans à quelques heures pour les végétaux.

L'ensemble de ces réservoirs totalise 1400 millions de km<sup>3</sup> d'eau. 97,2 % de l'eau est présente sous forme d'eau salée, inégalement répartie entre ces réservoirs, eux-mêmes répartis de façon hétérogène à l'échelle de la planète. L'eau douce ne constitue que 2,5 % de l'eau sur Terre, elle est majoritairement stockée dans les glaciers (60 à 70 %) ou dans les aquifères (environ 30 %).

Selon les réservoirs, l'eau peut être retrouvée sous une phase solide, liquide ou gazeuse. Elle passe d'une forme à une autre selon différents processus : condensation, évaporation, évapotranspiration, solidification notamment. Ainsi, l'eau est présente sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Quand elle s'y élève et se refroidit, elle condense pour former des nuages, qui précipitent lorsque les gouttes d'eau formées sont trop lourdes. Ces précipitations sont sous forme de pluie, de neige ou de grêle. Une fois tombées, elles peuvent s'infiltrer dans les sols, rejoindre les nappes phréatiques, les cours d'eau et les mers et océans ou être mobilisées par la végétation. L'eau peut ensuite s'évaporer depuis les océans notamment, ou être évapotranspirée depuis les végétaux, et rejoindre de nouveau l'atmosphère. C'est le cycle naturel de l'eau, appelé « grand cycle de l'eau ».

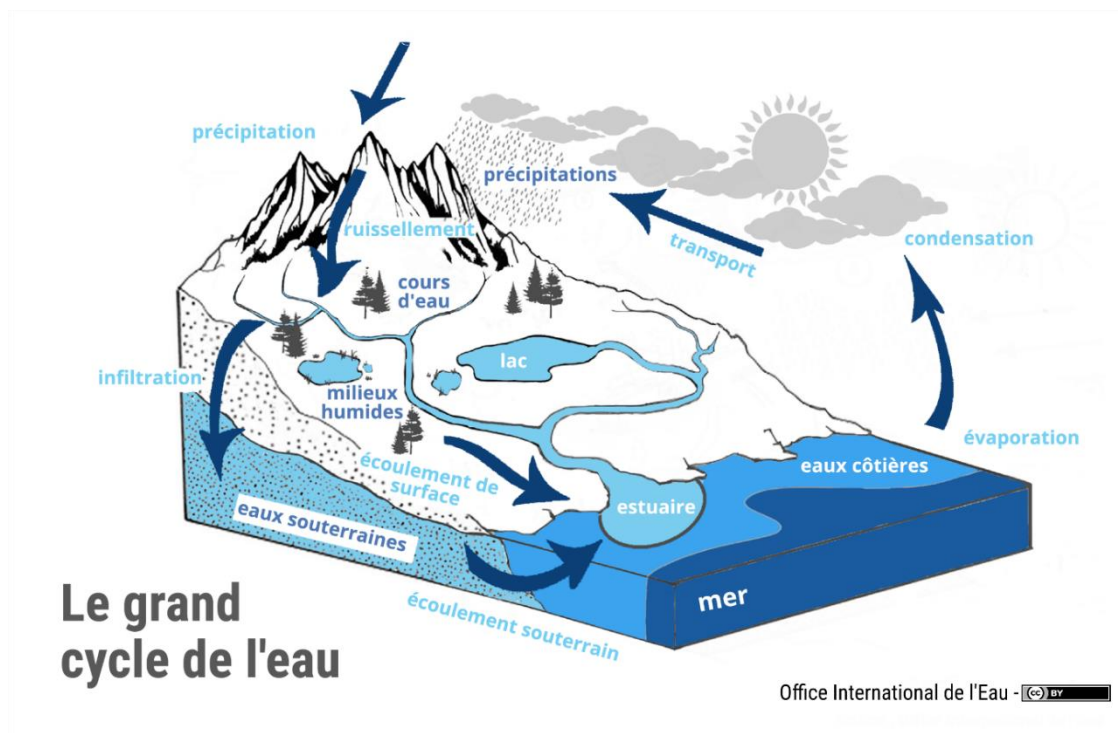


Figure 1 : le grand cycle de l'eau (Office international de l'eau, 2017)

## 1.2. Rappels historiques sur l'urbanisation et les problématiques de gestion de l'eau

L'eau est une ressource indispensable pour les activités humaines et plus généralement, la vie sur Terre. Elle est utilisée en agriculture pour l'irrigation des cultures et l'élevage du bétail ; par l'industrie pour des fonctions de refroidissement, de lavage, des processus de transformation chimique, etc. ; pour la consommation domestique : consommation d'eau potable, cuisine, hygiène, etc. Mais elle peut également constituer une source de risque, en causant par exemple des inondations. Ces problématiques peuvent être particulièrement importantes dans les villes, où le besoin en eau potable est concentré et où le risque inondation est aggravé par l'urbanisation.

Ainsi, les problématiques de gestion de l'eau en ville sont anciennes (APUR, 2015 ; Chouli E., 2006 ; site internet de la mairie de Paris ; Panien M., 2020), comme en attestent les aqueducs, les vestiges de bains romains en ville, les récits laissés par les historiens sur l'irrigation pour l'agriculture... L'usage des systèmes d'évacuation des eaux usées est en partie perdu au Moyen-Âge. Puis les villes se développent et avec elles, l'imperméabilisation des sols : à partir du 18<sup>e</sup> siècle, les chaussées sont empierrées en Europe. Le ruissellement des eaux, souvent polluées, augmente.

Dans un contexte de grandes épidémies, la volonté d'évacuer les eaux sales hors des villes – eaux pluviales et eaux usées souvent rejetées dans les rues – se fait fortement ressentir. Dans la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle, dans le cadre du mouvement hygiéniste et notamment sous l'impulsion du Préfet Haussmann, les réseaux d'assainissement se développent à Paris : il s'agit des premiers « tout-à-l'égout ». En parallèle, les routes empierrées commencent à être revêtues et les chaussées fendues à ruisseau central sont remplacées par des chaussées bombées, sur lesquelles les eaux s'écoulent et ruissellent vers les caniveaux qui séparent la chaussée de son trottoir.

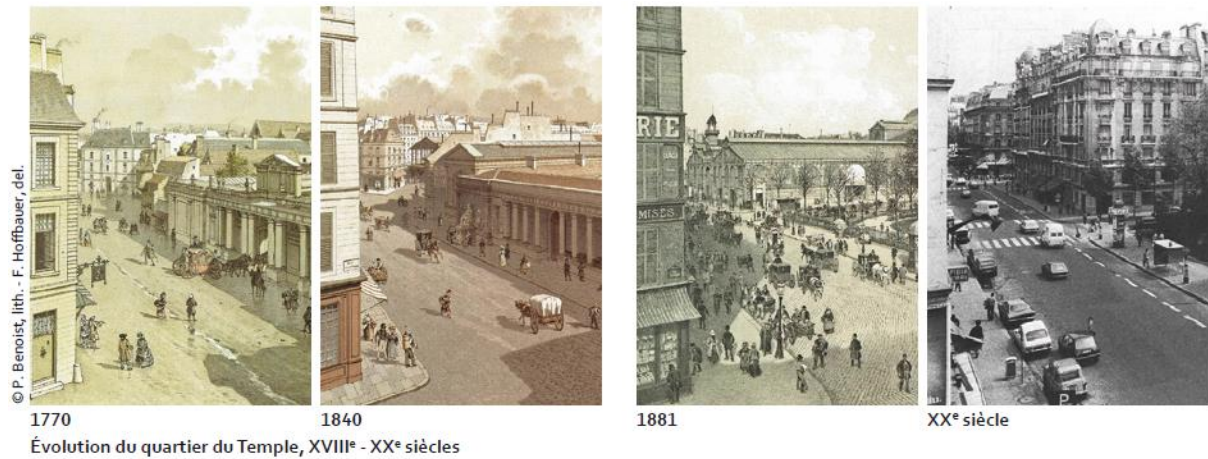


Figure 2 : évolution de la gestion de l'eau avec l'évolution des types de chaussées (citée par APUR, 2015)

Le développement des villes se poursuit. Les besoins d'approvisionnement en eau et d'évacuation des eaux usées sont de plus en plus importants. Par ailleurs, les progrès techniques permettent l'assèchement des sols au profit des constructions, et les surfaces urbaines sont de plus en plus imperméabilisées avec le développement des chaussées modernes utilisant du bitume. La politique de tout tuyaux pour gérer l'eau en ville se développe.

Mais cette politique a récemment été remise en cause. La naissance du concept de ville éponge en est un exemple : les habitants et acteurs de l'aménagement des villes souhaitent de plus en plus « le retour » de l'eau en ville et leur désimperméabilisation.

### 1.3. Les modifications du cycle de l'eau liées à l'urbanisation

Les activités humaines et notamment le besoin en eau potable ainsi que l'urbanisation et l'imperméabilisation des sols sont responsables de modifications du grand cycle de l'eau.

Pour répondre à ses besoins en eau, l'Homme a créé un cycle appelé « petit cycle de l'eau », qui comprend les étapes suivantes : captage de l'eau, traitement, stockage et distribution, collecte des eaux usées, épuration et rejet dans le milieu naturel (Commission européenne, 2017). Ce petit cycle diffère du cycle naturel à plusieurs niveaux :

- Au niveau de la source : l'eau est captée dans certains réservoirs naturels, dans lesquels son temps de résidence peut donc diminuer
- Au niveau des transferts : la circulation de l'eau est guidée par les réseaux de distribution en eau potable et de collecte des eaux usées
- Au niveau des exutoires : les eaux rejetées alimentent des réservoirs qui récupèrent donc des eaux non issues du cycle naturel



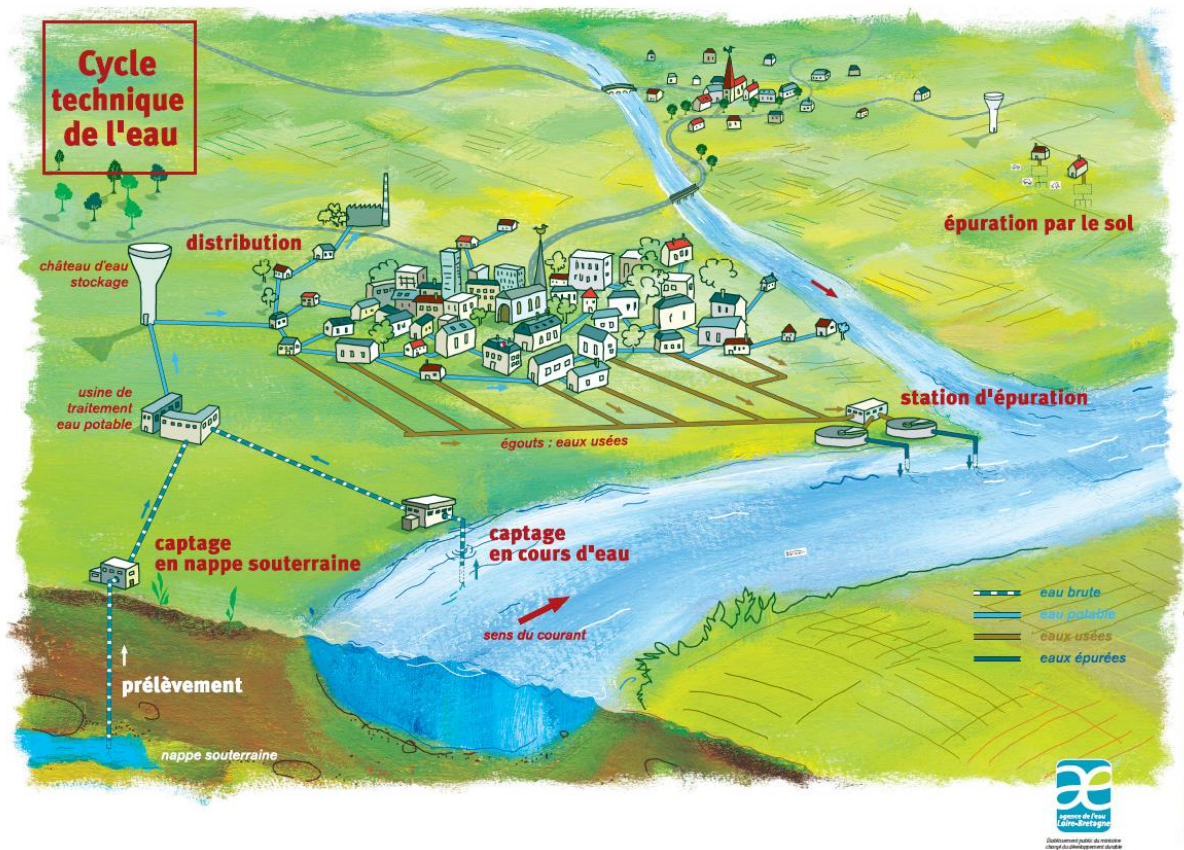


Figure 3 : le petit cycle de l'eau (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2012)

En plus des besoins humains, l'urbanisation apporte également des changements au cycle naturel de l'eau, notamment via l'imperméabilisation des sols. Celle-ci limite l'infiltration de l'eau dans les sols. Les eaux pluviales sont alors plus susceptibles de ruisseler le long des voiries ou autres surfaces imperméabilisées non bâties, selon des cheminements qui dépendent également de la topographie urbaine. Les bassins versants peuvent ainsi être modifiés par l'urbanisation. L'imperméabilisation peut également empêcher certains flux hydriques entre le sol et l'atmosphère et la recharge des nappes. Par ailleurs, l'évapotranspiration dépend de la présence des végétaux en ville et peut aussi être faible dans les zones urbaines peu végétalisées. A l'inverse, le ruissellement augmente, car l'eau ne peut plus s'infiltrer autant dans les sols. Les flux d'eau entre réservoirs sont donc modifiés par rapport au cycle naturel de l'eau. Enfin, les activités humaines génèrent des pollutions qui dégradent la qualité des eaux en milieu urbain ou des eaux qui en sont issues : utilisation de l'eau pour les besoins domestiques, pollutions issues du trafic automobile, etc.

---

*La Commission européenne a défini l'imperméabilisation comme étant le « recouvrement permanent d'une parcelle de terre et de son sol par un matériau imperméable tel que l'asphalte ou le béton » (Commission européenne, 2012).*

---

## 2. Les villes éponges : une réponse face aux problématiques liées à la désimperméabilisation

En milieu urbain, la gestion de l'eau et en particulier des eaux pluviales urbaines est une problématique importante. L'imperméabilisation cause de nombreuses menaces, présentées dans ce chapitre, potentiellement aggravées par le changement climatique. Comment répondre à ces menaces ? Comment améliorer la gestion de l'eau en ville ?

### 2.1. Les modifications du cycle de l'eau dues à l'imperméabilisation font peser de nombreuses menaces dans les zones urbaines

A l'échelle mondiale, plus de 50 % de la population vit en ville (Commission européenne, 2017). A l'échelle française, en 2020, après quelques décennies d'urbanisation marquées par un étalement urbain important, plus de 80 % de la population vit dans une aire urbaine.

L'urbanisation est corrélée avec l'artificialisation des sols. En France, entre 2009 et 2017, cette artificialisation s'est principalement faite à destination de l'habitat (68 %) et de l'activité (25 %) (Cerema, 2019a). Construction de nouveaux bâtiments, de nouvelles voiries, etc., au profit de la préservation d'espaces naturels et agricoles : l'artificialisation entraîne généralement une imperméabilisation des sols.

Cette imperméabilisation des sols en milieu urbain peut amplifier les phénomènes de ruissellement et d'inondation lors des épisodes de précipitations intenses. En effet, un sol perméable peut infiltrer les eaux pluviales. Ce temps d'infiltration permet d'augmenter la durée que mettent les eaux pluviales pour rejoindre un cours d'eau et ainsi, de réduire les pics de crue. Les inondations peuvent être amplifiées et/ou aggravées en aval des zones urbaines en raison de la réduction du lit des cours d'eau souvent endigués dans les zones urbaines. La Caisse centrale de réassurance évalue à 45 % la part des dommages assurés provoqués par les inondations en France (Montcoulon D. et al., 2014).

L'imperméabilisation des sols a également des conséquences pour la ressource en eau, sur le plan quantitatif et qualitatif. En effet, un sol imperméabilisé infiltre en moins grande quantité les eaux pluviales, ce qui peut limiter la recharge des nappes souterraines. Par ailleurs, en cas de ruissellement et/ou d'inondation, les eaux pluviales se chargent en polluants qui peuvent ensuite être entraînés vers les milieux naturels, et en particulier, les nappes phréatiques.

L'urbanisation et l'artificialisation des sols peuvent aussi générer des effets d'îlots de chaleur urbains lors des canicules, en particulier en cas de diminution de la végétalisation et de recouvrement des terrains naturels par des matériaux sombres, notamment l'asphalte.

Enfin, l'imperméabilisation des sols peut avoir des conséquences variées sur la biodiversité : diminution de la végétalisation liée à l'artificialisation des sols, impacts sur les services écosystémiques rendus par les sols imperméabilisés (dont leur rôle de réservoir de CO<sub>2</sub>), pressions sur la végétation qui peut souffrir de stress hydrique...

### 2.2. Le changement climatique amplifie les menaces liées à l'eau en ville

Les impacts liés à l'artificialisation et à l'imperméabilisation des sols dépendent de facteurs climatiques. Or, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat est formel : le changement climatique est en cours et va continuer dans les prochaines années. Parmi les principales évolutions attendues figurent les évolutions des moyennes des températures et des précipitations et

l'aggravation des extrêmes climatiques : canicules, précipitations extrêmes, tempêtes... Ces évolutions ont des conséquences également sur les phénomènes liés au climat tels que les inondations, les mouvements de terrain, etc.

Plusieurs évolutions climatiques projetées auront aussi des conséquences en France pour la gestion des eaux urbaines (Ouzeau G. et al, 2014) :

- Les précipitations extrêmes devraient augmenter à l'horizon 2100, avec un taux de renforcement pouvant dépasser 5 % (selon le scénario RCP8.5) : les risques d'inondation par ruissellement pourraient ainsi également augmenter
- Les inondations pourraient s'aggraver selon les contextes hydrologiques, étant donné les évolutions des précipitations extrêmes
- Les canicules devraient s'amplifier, avec une augmentation du nombre de jours de vague de chaleur estivale allant jusqu'à 5 jours sur l'ensemble du territoire métropolitain à l'horizon 2050, et plus de 20 jours à l'horizon 2100 (selon le scénario RCP8.5) : les effets d'îlot de chaleur urbains pourraient ainsi être plus marqués
- Les sécheresses devraient augmenter à l'horizon 2100, créant une pression supplémentaire sur la biodiversité d'une part, et sur l'utilisation de la ressource en eau d'autre part



Figure 4 : exemples d'impacts du changement climatique liés à l'eau, à l'échelle du bassin Loire-Bretagne (DREAL Centre-Val de Loire, 2019)

### 2.3. Des villes éponges pour mieux gérer les eaux pluviales

Les menaces liées à l'imperméabilisation des sols en ville ne sont pas nouvelles, même si la problématique du changement climatique est relativement récente. La gestion des eaux pluviales urbaines se base sur une longue histoire au cours de laquelle des outils et méthodes ont été développés pour intégrer et s'adapter aux problématiques émergentes.

Ainsi, le concept de la « ville éponge » a émergé dans les années 2010 en Chine, où il est défini de la façon suivante : « la ville éponge est une stratégie intégrée de gestion des eaux urbaines. Elle se base sur des fondements scientifiques, à savoir les lois du cycle naturel et social de l'eau et les processus qui y sont associés. Elle vise à atténuer la saturation des sols urbains en eau, à contrôler la pollution des eaux urbaines et à utiliser les ressources en eau de pluie, ainsi qu'à restaurer la qualité écologique des eaux urbaines » (Wang H. et al., 2018).

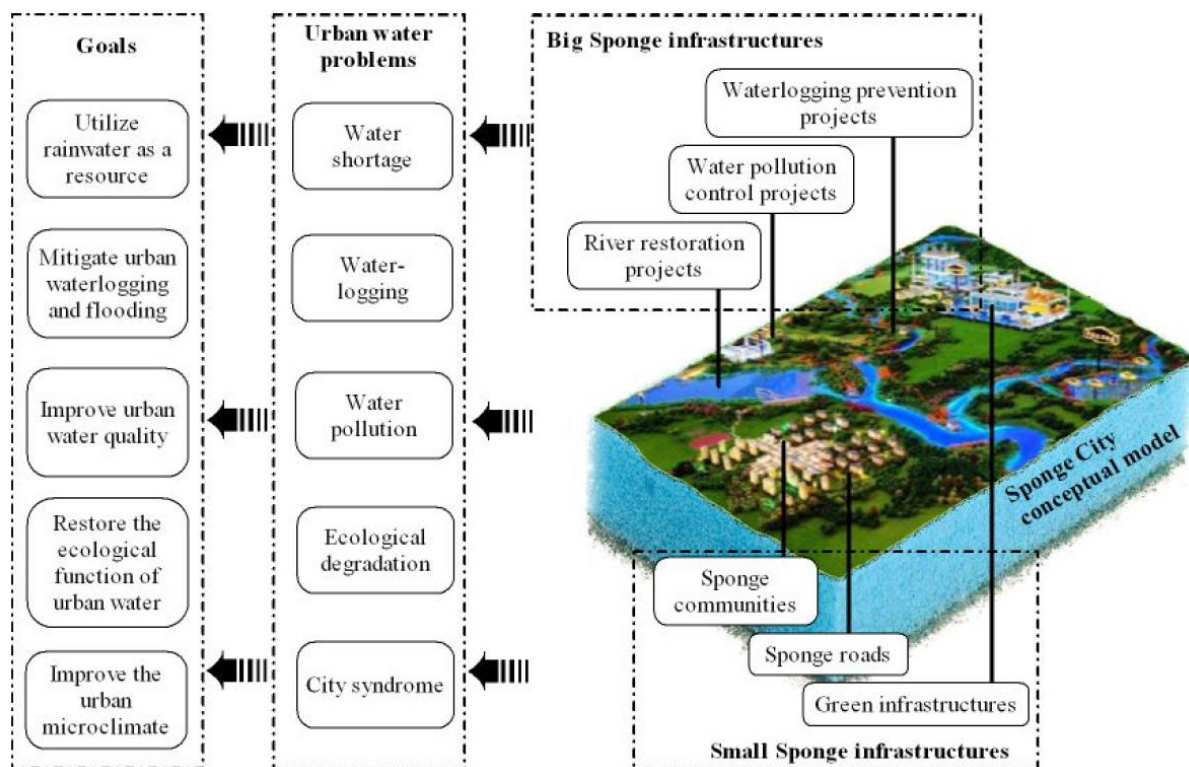


Figure 5 : modèle conceptuel de la ville éponge et de ses objectifs (Li Z. et al., 2018)

Ce concept s’est développé dans le monde entier et a été élargi. Ainsi, **la ville éponge cherche à répondre à la fois à une meilleure gestion des inondations, à une amélioration du cadre de vie des habitants et à des enjeux de préservation de l’environnement et de la biodiversité. L’atteinte de ces objectifs se base en particulier sur des techniques de gestion alternatives des eaux pluviales, dont celles de désimperméabilisation.**

Il s’agit entre autres, grâce à une meilleure gestion des eaux pluviales :

- De limiter les inondations et leurs conséquences pour ses habitants en limitant la saturation des sols d’une part et le ruissellement d’autre part
- De limiter la pollution des eaux pluviales par ruissellement
- D’améliorer la qualité de vie en réintroduisant l’eau en ville
- De valoriser les eaux pluviales en favorisant leur réutilisation pour l’arrosage par exemple
- De lutter contre les îlots de chaleur urbains

Outre ces enjeux, les villes éponges visent à réduire les impacts sur la biodiversité grâce notamment à la désimperméabilisation des sols, qui permettrait de :

- limiter la perte des habitats naturels : de nombreux micro-organismes y vivent et de nombreuses espèces animales et végétales en dépendent ;
- limiter la fragmentation du sol en tant qu’espace naturel, par les infrastructures linéaires de transport notamment ;
- préserver le sol en tant que puits de CO<sub>2</sub>, via les végétaux notamment ;
- limiter les effets d’îlots de chaleur urbains, grâce notamment à l’évapotranspiration des végétaux et en limitant les surfaces sombres, qui accentuent le phénomène.

Plus globalement, répondre à ces enjeux peut également permettre d’optimiser les budgets des acteurs en charge du développement d’une zone urbaine, en diminuant les coûts liés aux impacts potentiels des inondations et des pollutions, en favorisant le réemploi des eaux pluviales, en développant l’attractivité de la zone urbaine concernée...



Figure 6 : vue sur une ville éponge après une inondation (Turenscape, sans date)

### 3. Bénéfices de la désimperméabilisation des surfaces revêtues pour leurs gestionnaires

Le concept de ville éponge soulève de nombreux enjeux pour les zones urbaines. La désimperméabilisation en est l’un des objectifs majeurs, qui doit permettre une meilleure gestion des eaux pluviales et des impacts qu’elles peuvent causer dans ces zones.

Les surfaces revêtues sont incontournables dans de nombreuses villes françaises. A titre d’exemple, les voiries et trottoirs représentent 12,7 millions de m<sup>2</sup> de chaussée et 11,5 millions de m<sup>2</sup> de trottoirs, soit 20 % de la surface de Paris (APUR, 2015) !

Il en existe différents types : voiries telles que les autoroutes ou les routes urbaines, pistes cyclables et voies vertes, trottoirs, parkings, cours d’école et places... Elles peuvent être gérées par des exploitants routiers publics ou privés ou des gestionnaires en charge à la fois de la gestion des réseaux routiers et des réseaux d’eau, tels que les collectivités territoriales.

Les problématiques présentées au chapitre précédent mettent en avant les nombreux enjeux de la désimperméabilisation à l’échelle des villes : pour les gestionnaires de surfaces revêtues, elle peut avoir de nombreux bénéfices, exposés dans ce chapitre.

### 3.1. Des bénéfices budgétaires et en matière de qualité de service

La désimperméabilisation peut apporter de nombreux bénéfices aux acteurs publics et privés en charge de la gestion des surfaces revêtues, relatifs par exemple à :

- L'état des infrastructures : l'infiltration au plus près de la source permet de limiter le vieillissement prématuré des surfaces revêtues en réduisant les zones avec accumulation d'eau et son infiltration non maîtrisée dans les structures, ainsi que le ruissellement et donc le lessivage des surfaces
- La conception des infrastructures : permettre l'infiltration des eaux pluviales permet de limiter le ruissellement et plus globalement, l'écoulement des eaux dans les réseaux d'assainissement des voiries par exemple. Cela peut éviter d'avoir à surdimensionner ces réseaux d'assainissement en prévision par exemple de périodes de pluies intenses
- La fiabilité des déplacements. Pour les gestionnaires publics ou privés, la désimperméabilisation permet de limiter les risques de rupture des réseaux routiers en cas de fort ruissellement ou d'inondation
- L'entretien et l'exploitation des surfaces revêtues. Limiter les risques d'inondation par ruissellement permet aussi de limiter les interventions post inondations, en particulier, la gestion éventuelle des déchets accumulés sur les voiries ou les vérifications de l'état de certaines infrastructures qui auraient pu être impactées
- La qualité d'usage et le niveau de sécurité : il est important de pouvoir limiter l'eau sur les surfaces revêtues circulées, pour limiter l'aquaplaning pour le trafic de véhicule ou les risques d'accidents à vélo, etc. Les matériaux de désimperméabilisation utilisés devront permettre de garantir une bonne adhérence, par temps de pluie ou par temps sec. Limiter l'accumulation d'eau sur les surfaces revêtues circulées permet aussi de réduire le risque d'éclaboussures des piétons et cyclistes sur les trottoirs notamment

L'ensemble de ces bénéfices est également profitable pour les gestionnaires d'un point de vue budgétaire, grâce à la diminution des coûts de travaux liés au vieillissement prématuré des infrastructures, aux impacts dus aux inondations ; à l'adaptation de la conception en limitant les surdimensionnements ; à la diminution des besoins d'intervention post inondation...

### 3.2. Bénéfices relatifs à l'aménagement du territoire et au cadre de vie

La désimperméabilisation des surfaces revêtues apporte également de nombreux atouts pour les gestionnaires en charge à la fois des surfaces revêtues, de l'aménagement urbain et de la gestion des zones urbaines plus généralement (collectivités territoriales par exemple).

Désimperméabiliser les sols peut permettre une meilleure infiltration de l'eau et ainsi, atténuer les risques d'inondation par ruissellement. Cet enjeu est d'autant plus important dans un contexte de changement climatique : les épisodes de précipitations intenses vont probablement augmenter et avec eux, les inondations. Pour les acteurs publics de l'aménagement des villes, cet enjeu renvoie à celui de la sécurité du territoire pour ses habitants.

L'amélioration de l'infiltration au plus près de la source peut permettre aux services des collectivités territoriales en charge de la gestion des eaux en ville et de l'environnement de limiter les pollutions et de mieux gérer les systèmes d'assainissement urbains. En effet, les épisodes de ruissellement et/ou d'inondation augmentent le risque de pollution des eaux et causent ainsi des dégâts environnementaux (impacts sur la qualité des eaux, impacts sur la biodiversité). Ils peuvent aussi

entraîner des dysfonctionnements des stations d'épuration (saturation des systèmes de dépollution, surverse des eaux pluviales dans les milieux naturels avec risque de pollution).

Par ailleurs, la désimperméabilisation peut se faire avec des techniques paysagées : surfaces pavées, tranchées drainantes végétalisées, noues et fossés enherbés, combinaisons de plusieurs techniques de désimperméabilisation des surfaces revêtues aménagées de sorte à offrir des espaces récréatifs, etc. Ces aménagements participent à la qualité de vie des habitants des villes désimperméabilisées.

Enfin, lorsque ces aménagements permettent de réduire les surfaces revêtues en matériaux sombres et d'augmenter la végétalisation, ils contribuent à limiter les effets d'îlot de chaleur urbain. Ceci est d'autant plus important dans un contexte de changement climatique, avec des hausses projetées des températures moyennes pouvant aller jusqu'à +7°C selon certains scénarios climatiques (RCP8.5).

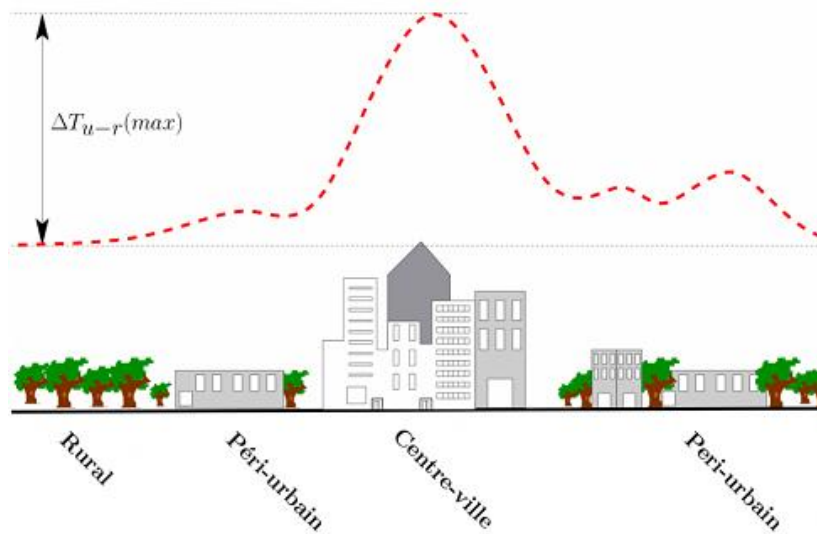


Figure 7 : phénomène d'îlot de chaleur urbain (Cerema)

### 3.3. Des enjeux réglementaires et financiers

Outre les enjeux budgétaires, de qualité de service et de qualité de vie, les gestionnaires de surfaces revêtues doivent répondre à la réglementation. La désimperméabilisation est à l'interface de plusieurs domaines d'un point de vue technique et donc aussi, réglementaire : eau, assainissement, environnement, voiries et urbanisme entre autres.

La mise en œuvre d'aménagements de désimperméabilisation doit être cohérente avec les plans locaux d'urbanisme, les schémas d'aménagement des eaux et les règlements d'assainissement, les plans de prévention des risques, etc.

Par ailleurs, les gestionnaires des surfaces revêtues, publics comme privés, sont confrontés à des problématiques financières pour la mise en œuvre de solutions de désimperméabilisation. Si la désimperméabilisation peut demander des investissements, elle permet de réduire certains coûts :

- Favoriser la gestion des eaux pluviales à la source et l'infiltration permet de limiter les inondations, qui peuvent causer des dégâts sur les infrastructures de gestion des eaux et les

voiries, et ainsi, limiter les coûts liés à la réparation des ouvrages. L'image du gestionnaire peut s'en trouver confortée auprès de ses financeurs et du grand public, s'il valorise ses démarches

- Avec le changement climatique, les épisodes de précipitations extrêmes et les inondations sont susceptibles d'augmenter. Sur le long terme, les réseaux d'eau pourraient être saturés et le gestionnaire serait alors amené à devoir les re-dimensionner pour éviter leur saturation et leur débordement. Ceci a un coût non négligeable
- Pour les gestionnaires de réseaux d'eau, l'infiltration permet de diminuer les coûts liés à la gestion des eaux pluviales. En effet, celles-ci ne font pas partie des eaux à collecter et transporter, ce qui limite les coûts liés à la conception des réseaux de gestion des eaux urbaines ; elles ne font pas non plus partie des eaux à dépolluer (la dépollution peut être faite sur place selon les besoins et techniques employées), ce qui limite les coûts de traitement
- Enfin, des mesures financières incitatives en faveur de la désimperméabilisation peuvent être instaurées par les collectivités, au bénéfice des constructeurs

## 4. Matériaux et techniques de désimperméabilisation, avantages et inconvénients

De nombreux matériaux et techniques permettent la désimperméabilisation des surfaces revêtues. Dans le cadre de la définition d'une stratégie de désimperméabilisation, il est indispensable de bien connaître ces différentes solutions, ainsi que leurs avantages et inconvénients en matière de coûts, entretien, durabilité, etc.

### 4.1. Généralités sur les matériaux et techniques de désimperméabilisation de surfaces revêtues

Il existe une grande diversité de surfaces revêtues. Bien que leur conception varie en fonction des contraintes d'usage, environnementales et climatiques, des coûts de mise en œuvre acceptables pour le gestionnaire, etc., elles sont constituées de couches de surface, d'assises et des terrassements (cf. figure ci-dessous).

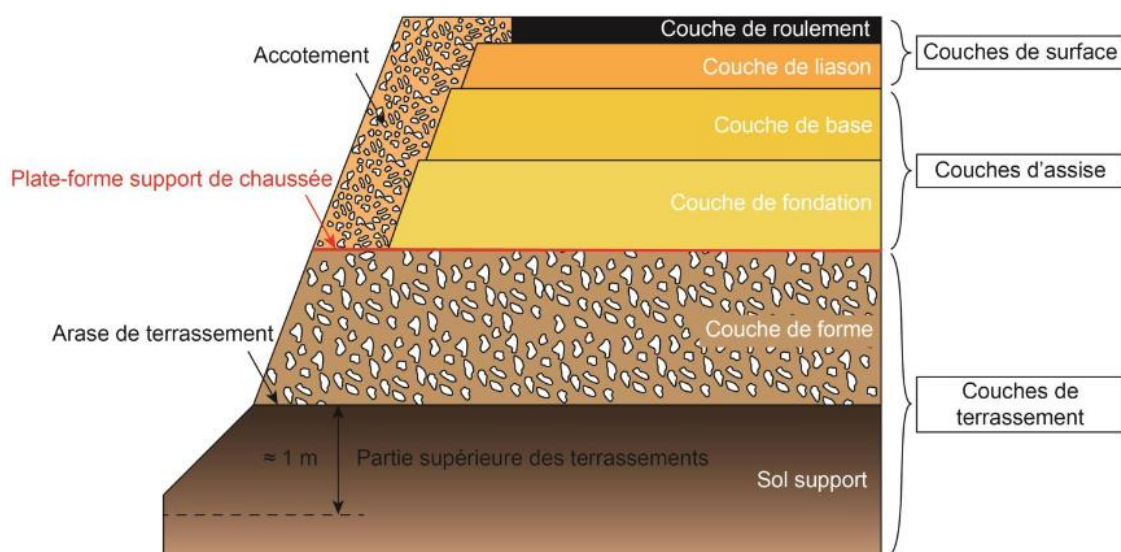


Figure 8 : coupe transversale d'une structure type de chaussée (Cerema, 2018)



Appliquée à des surfaces revêtues, la désimperméabilisation consiste à augmenter la perméabilité de ces surfaces pour permettre la collecte des eaux pluviales, leur stockage temporaire dans la structure concernée et leur restitution vers des exutoires définis. Il s'agit d'infiltrer les eaux au plus près de l'endroit où elles tombent, en conservant l'usage initial des surfaces revêtues *a minima*. Pour ce faire, il est possible de jouer sur la perméabilité des différentes couches d'une chaussée en combinant différents matériaux et techniques (Graie, 2014) :

- la couche de roulement, qui peut être réalisée avec des matériaux perméables (tels que les enrobés drainants) ou avec des matériaux non nécessairement poreux mais dont l'assemblage permet l'infiltration (tels que le gravier).
- la couche de forme et/ou de fondation, qui peut stocker temporairement l'eau et permettre sa circulation. Selon les techniques utilisés, le volume de l'eau stockée peut être plus ou moins important (chaussées à structure réservoir par exemple).
- le drainage de l'ensemble de la structure, qui permet une infiltration à proximité de la structure ou plus profondément dans le sol. Ce drainage dépend notamment de la capacité du sol recouvert à infiltrer plus ou moins bien l'eau.

Chaque matériau et technique possède des caractéristiques propres et répond à des contraintes différentes en matière de trafic pouvant circuler dessus, de niveau de perméabilité, etc. Chacun présente également des avantages et inconvénients différents : coûts de mises en œuvre et d'entretien, fréquence d'entretien, intérêt paysager, etc. Ces éléments sont présentés dans les chapitres ci-dessous.

## 4.2. Principaux matériaux

### 4.2.1. Les enrobés poreux

Les enrobés poreux sont des revêtements dont la structure poreuse leur confère une forte perméabilité obtenue par la taille des granulats et un dosage spécifique de liant. Ils s'utilisent pour tous types de trafic mêmes autoroutiers, et dans différents contextes (zones à forte déclivité et/ou zones d'accumulation d'eau).

Ces enrobés ont été conçus pour améliorer la sécurité des usagers de la route en évacuant rapidement l'eau. Ceci permet d'éviter les projections d'eau, l'aquaplaning, la réverbération et la formation de brouillard, par temps de pluie. Par ailleurs, ils permettent une réduction des bruits de roulement de 2 à 3 dB (A) par rapport à une couche de roulement classique. Le bruit est amorti par l'uniformité de la surface de roulement, ainsi que par la réfraction progressive des ondes de bruit dans la porosité (stockage acoustique)

### 4.2.2. Les polymères

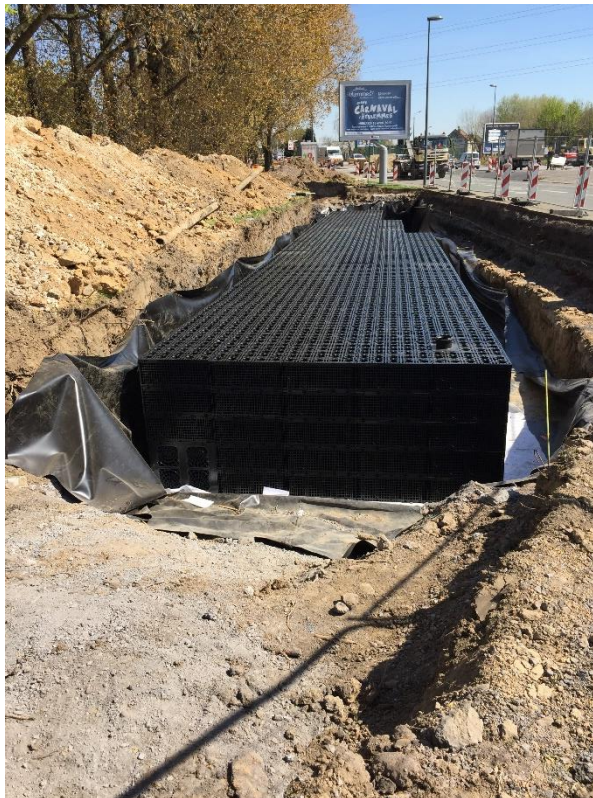
Les polymères utilisés dans les solutions de désimperméabilisation sont le polypropylène (PP), le polyéthylène haute et basse densité (PEHD - PEBD) ou le polychlorure de vinyle (PVC), et certaines solutions contiennent aussi de la résine recyclée. Les éléments sont obtenus principalement par injection, par extrusion ou par collage de feuilles thermoformées (Le Nouveau N. et al., 2008).

Le polypropylène (PP) est une résine thermoplastique obtenue par polymérisation du propylène offrant une bonne résistance aux acides et aux alcalins. Il peut être recyclé très facilement et est souvent employé dans les structures alvéolaires ultra légères (SAUL).

#### *4.2.2.1. Les structures alvéolaires ultra légères (SAUL)*

Les SAUL sont des dispositifs enterrés, conçus pour assurer la collecte, le stockage, l'infiltration et la restitution des eaux pluviales au milieu récepteur. Grâce à un taux de vide supérieur à 90 %, elles peuvent absorber très rapidement les eaux pluviales et donc, réguler le débit sortant du bassin pour écrêter les débits de pointe lors de précipitations et restituer l'eau par infiltration répartie ou localement vers un exutoire.

Les SAUL se sont développés en France dans les années 80 pour la réalisation de remblais allégés. L'étude et l'observation du comportement de l'eau dans ces structures ont permis de mettre en avant une bonne circulation et l'absence de surpression. Du fait de ces caractéristiques, ce matériau a commencé à être utilisé pour le stockage des eaux pluviales.



*Figure 9 : photo de SAUL (Cerema)*

Les SAUL se présentent sous la forme de modules parallélépipédiques, manportables, juxtaposables et empilables. Ces structures présentent plusieurs avantages :

- La simplicité et la rapidité d'assemblage sur site
- Une grande modularité, qui permet d'adapter le volume de stockage pouvant varier de quelques centaines à des milliers de mètres cubes
- Une bonne résistance mécanique qui permet d'aménager au-dessus des chaussées, des parkings circulés ou des espaces verts, sans perte de place

Ces structures sont également appelées: nid d'abeille, module pour la rétention et l'épandage, système modulaire de stockage et d'infiltration, système d'infiltration, système casier ou alvéolaire, cellule de récupération, chambre haute capacité (Le Nouveau N. et al., 2007).

#### 4.2.2.2. Les chambres haute capacité (CHC)

Les chambres haute capacité se présentent le plus souvent sous la forme de coques demi-cylindriques en matière plastique perforées latéralement. Elles comportent des points d'accès permettant l'inspection du système et nettoyage des sédiments décantés.

Elles sont posées directement sur la plate-forme et sont recouvertes d'une couche de grave non traitée poreuse.

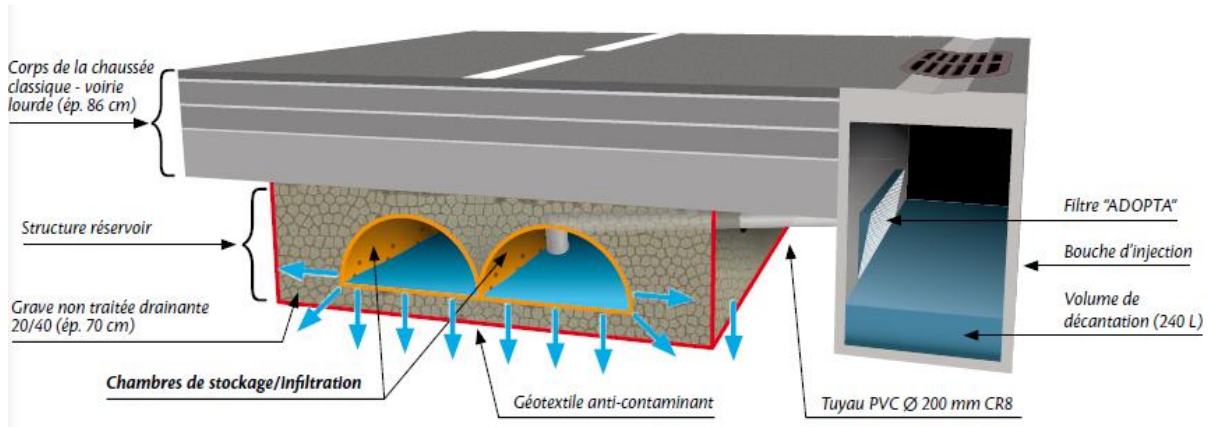


Figure 10 : exemple de chaussée à structure réservoir utilisant des chambres haute capacité (Adopta, 2015)

#### 4.2.2.3. Les dalles alvéolaires

Les dalles alvéolaires peuvent être fabriquées en polyéthylène basse densité (PEBD) ou polyéthylène haute densité (PEHD). Elles sont conçues pour la réalisation de parkings ou voies d'accès. Les modèles polymères permettent d'insérer des pavés béton, des graviers ou du substrat pour gazon dans les alvéoles.



Figure 11 : photo d'un parking équipé de dalles alvéolaire en PEHD (Cerema)

### 4.2.3. Les bétons drainants coulés en place ou produits préfabriqués

#### 4.2.3.1. Les bétons drainants coulés en place

Le béton présente généralement une très faible porosité. Ses pores ne sont pas communicants et ne permettent pas la circulation de l'eau. Pour produire des bétons drainants, deux solutions existent :

- travailler la composition du béton. L'objectif est de créer une granularité discontinue et ainsi, des vides connectés. Cette porosité facilite l'infiltration naturelle de l'eau
- créer des vides via l'utilisation de revêtements modulaires : entre les dalles, pavés, etc.

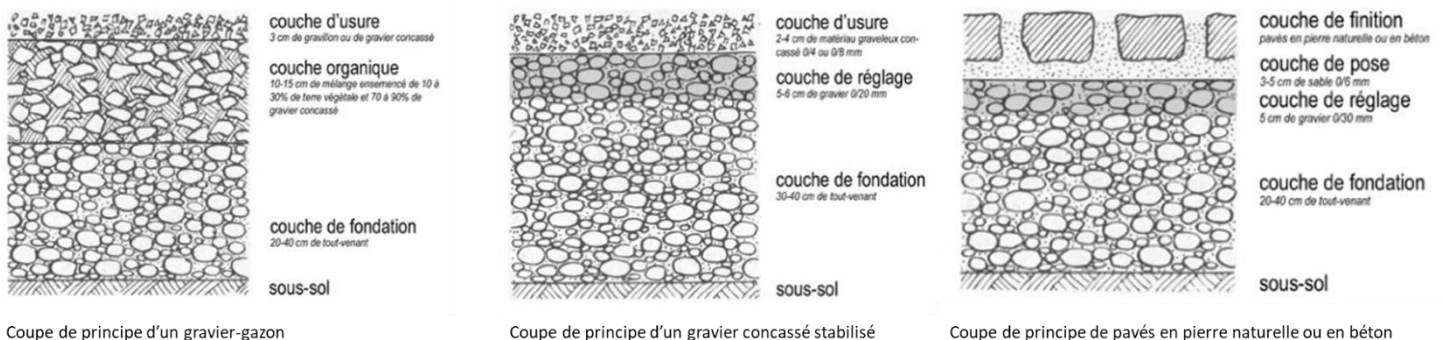
Un béton destiné à la réalisation d'un revêtement drainant est composé de gravillons, ciment, eau, adjuvant et éventuellement de sable, de pigments et/ou de microfibres. Les teneurs en vides communicants d'un béton drainant sont de 10 à 25 %. La mise en œuvre de ces bétons est délicate et demande aux entreprises une bonne technicité.

#### 4.2.3.2. Les produits préfabriqués en béton

Plusieurs techniques existent : pavés poreux, dalles gazon et pavés à ouvertures garnies de gravillons ou engazonnées, pavés à joints perméables, etc. L'utilisation de dalles ou pavés présente des avantages lors de travaux, car l'ouverture des chaussées peut être facilitée ou moins impactante d'un point de vue esthétique notamment.

### 4.2.4. Les granulats drainants

Il existe plusieurs types de granulats drainants, qui peuvent ou doivent être combinés avec d'autres



matériaux : gravier-gazon, gravier concassé stabilisé, etc. Ils peuvent être utilisés comme solution de désimperméabilisation des trottoirs, des parkings et des places publiques en particulier. Leurs caractéristiques physiques permettent de reconstituer la fonction du sol (infiltration, filtration, oxygénation, échanges, support pour la végétation).

Figure 12 : coupes de revêtements perméables (Ville de Neuchâtel, 2004)

### 4.2.5. Le gazon naturel "renforcé"

Le gazon naturel "renforcé" est constitué d'un substrat composé de :

- Granules de lièges pour la souplesse, la résilience, la résistance à la compaction
- Fibres pour la résistance à l'arrachage et sa durabilité
- Sable fin extra-siliceux pour le drainage

Il obtient une forte résistance à la compaction et une très bonne résistance à l'intensité du piétinement. Il nécessite des endroits non couverts, sans ombre portée toute la journée et la fermeture temporaire de la zone dans le cas de nécessité de régénérer le gazon.

### 4.3. Principales techniques

#### 4.3.1. Les chaussées à structure réservoir

##### 4.3.1.1. Définition

Une chaussée à structure réservoir assure deux fonctions. Elle supporte la circulation ou le stationnement des véhicules et elle permet également de stocker les eaux pluviales. Les eaux de pluie sont introduites par injection, répartie à travers un revêtement drainant en surface (enrobé drainant, pavé poreux, etc.), ou, localisée par un système d’avaloirs et de drains qui la conduit dans le corps de chaussée. L’eau s’accumule dans les vides des matériaux de la structure de chaussée pour y être stockée et s’évacue dans le sol support par infiltration répartie ou localement vers un exutoire spécifique (fossé, réseau, etc.).

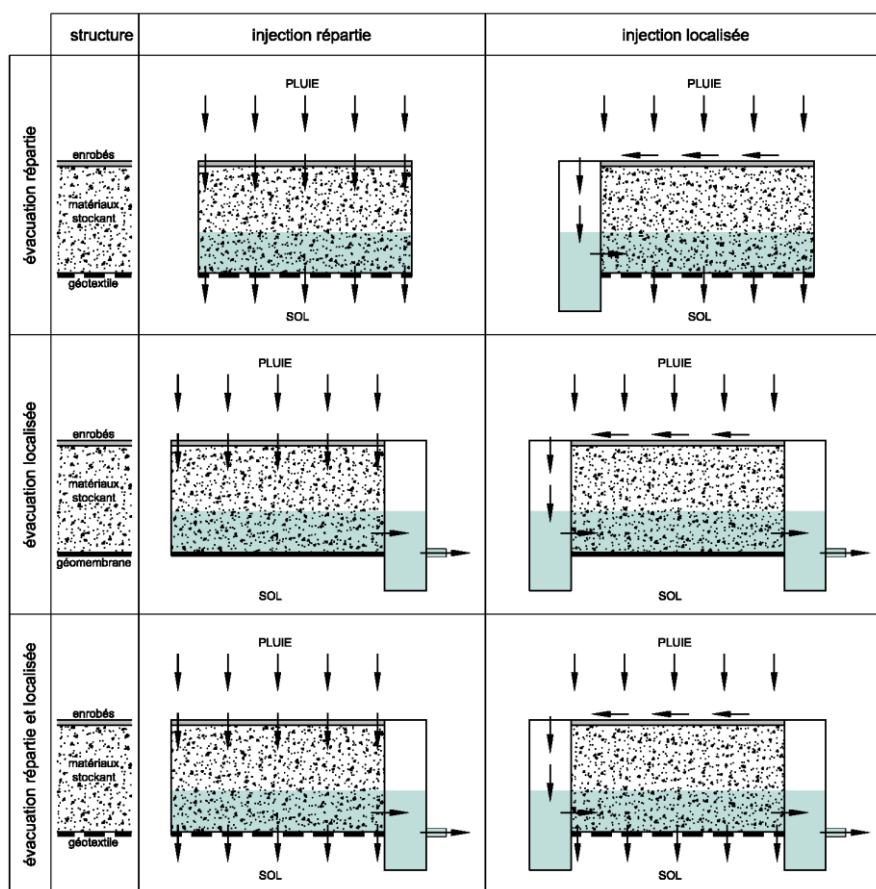


Figure 13 : principes de fonctionnement des chaussées à structure réservoir (Cerema)



Figure 14 : photo d'une chaussée à structure réservoir avec enrobé drainant à Douai (Cerema)

#### 4.3.1.2. Intérêts et précautions

Types	Intérêts	Précautions
Chaussée à structure réservoir	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Peut être alimentée directement par la surface drainante (matériau perméable)</li> <li>○ Gain d'emprise foncière (multi-usages, etc.)</li> <li>○ Insensibilité au gel</li> <li>○ Mise en œuvre relativement facile</li> <li>○ Décantation préalable à l'injection et donc dépollution des effluents</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ouvrages d'injection à surveiller et à entretenir de manière plus attentive que pour de simples bouches d'égout (risques de colmatage)</li> <li>○ Réduction des possibilités d'installation des réseaux divers</li> <li>○ Mise en œuvre difficile dans le cadre de projet de réhabilitation (présence de réseaux divers, etc.)</li> <li>○ Conception difficile sur secteur pentu : prévoir cloisonnement en cascade</li> </ul>
Spécificités des enrobés drainants	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Suppression des projections d'eau</li> <li>○ Diminution des bruits de trafic routier. Amélioration prépondérante pour des vitesses supérieures à 70 km/h</li> <li>○ Confort de conduite (moins de reflets, marquage au sol plus visible)</li> <li>○ Piégeage de la pollution en surface</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ La formation de verglas est plus précoce sur l'enrobé drainant</li> <li>○ Déconseillé dans les zones de giration (arrachements)</li> <li>○ Ouvertures puis remises en état délicates. Un des avantages de l'injection localisée réside dans la facilité de réfection du revêtement de surface</li> </ul>
Spécificité de l'infiltration répartie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Recharge de la nappe</li> <li>○ Limitation d'apport d'eaux pluviales dans les réseaux : diminution des déversements des déversoirs d'orage, participe à la mise en conformité des systèmes d'assainissement</li> <li>○ Pas de besoin d'exutoire de surface</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Affaiblissement des propriétés mécaniques du sol à prendre en compte dans le dimensionnement</li> </ul>

Figure 15 : intérêts et précautions liés aux chaussées à structure réservoir

### 4.3.2. Les noues et fossés végétalisés

#### 4.3.2.1. Définition

Les noues et les fossés végétalisés sont deux ouvrages qui collectent et régulent les débits et volumes des eaux de pluie et de ruissellement. Le fossé est linéaire, assez profond et ses rives sont relativement abruptes (pentes des talus de l'ordre de 1 m en hauteur pour 1 m en largeur). La noue est, quant à elle, peu profonde et ses rives sont en pente douce. Les pentes des talus sont souvent inférieures à 25 % du fait de la faible hauteur d'eau. L'ouvrage réalisé par un léger modelage du terrain est facilement intégré à l'aménagement (on ne pourra remarquer qu'un léger décaissé).



Figure 16 : photo d'une noue à Evin-Malmaison (Cerema)



Figure 17 : photo d'un fossé, ZAC du Blanc Balot à Santes (crédit photo : Max Lerouge – Métropole Européenne de Lille)

#### 4.3.2.2. Intérêts et précautions

Intérêts	Précautions
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Améliore le cadre de vie : Bonne intégration paysagère, développement d'activités récréatives et culturelles, support de nouvelles conceptions urbaines, etc.</li> <li>○ Participe au développement de la biodiversité</li> <li>○ Participe à la diminution des ilots de chaleurs urbains</li> <li>○ Participe à la lutte contre l'artificialisation des sols</li> <li>○ Préserve les ressources en eau : recharge des nappes</li> <li>○ Multi-usages</li> <li>○ Réalisation par phase au cours du développement de l'aménagement</li> <li>○ Coût peu élevé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bien respecter le dimensionnement établi à la conception et notamment les profils en long</li> <li>○ Prévoir un cloisonnement sur site pentu</li> <li>○ Ne pas compacter le sol pour préserver sa capacité d'infiltration</li> <li>○ Attention au colmatage par les fines pendant la phase travaux : réaliser les noues et fossés à la fin ou les protéger</li> <li>○ Entretien à adapter selon les contextes pour limiter les risques de colmatage et la stagnation d'eau</li> <li>○ Bien choisir les espèces végétales qui nécessitent peu d'entretien (1 ou 2 fauchages par an) pour limiter les coûts d'entretien</li> </ul>

Figure 18 : intérêts et précautions liés aux noues et fossés



Figure 19 : photo d'une noue avec cloison (Cerema)

### 4.3.3. Les tranchées drainantes

#### 4.3.3.1. Définition

La tranchée drainante est une excavation de profondeur et largeur faibles (en général 1 mètre de largeur). L'eau est collectée soit localement par des avaloirs et des drains qui conduisent l'eau dans le corps de la tranchée, soit de préférence par infiltration répartie à travers un revêtement drainant en



surface : enrobé drainant, pavé poreux, galets ou par des espacements entre bordures ou autres systèmes d’injection, après ruissellement sur les surfaces adjacentes.

L’évacuation se fait par infiltration répartie dans le sol support ou localement vers un exutoire spécifique (fossé, réseau, etc.).



Figure 20 : photo d’une tranchée drainante (Cerema)

#### 4.3.3.2. Intérêts et précautions

Intérêts	Précautions
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bonne intégration en milieu urbain et faible emprise foncière</li> <li>○ Coût peu élevé</li> <li>○ Réalisation qui ne nécessite pas de savoir-faire ou technicité particulière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bien respecter le dimensionnement établi à la conception et notamment la profondeur et la largeur de la tranchée</li> <li>○ Prévoir un cloisonnement sur site pentu</li> <li>○ Contrôler les matériaux utilisés et leur porosité pour garantir le volume de stockage attendu</li> <li>○ Prévoir le fond de l’ouvrage au minimum à 1 m du toit de la nappe exploitée</li> </ul>

Figure 21 : Intérêts et précautions liés aux tranchées drainantes

### 4.3.4. Les puits

#### 4.3.4.1. Définition

Les puits sont des ouvrages qui collectent et régulent les débits et volumes des eaux de pluie et de ruissellement vers un horizon perméable du sol. Les puits peuvent être remplis d’un matériau granulaire très poreux ou être équipés d’éléments préfabriqués perforés de type cheminée de regard. Pour éviter la migration des fines, le matériau ou l’élément préfabriqué est entouré d’un géotextile.



Figure 22 : photo d'un puit équipé d'éléments préfabriqués perforés (Cerema)

#### 4.3.4.2. Intérêts et précautions

Intérêts	Précautions
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bonne intégration en milieu urbain et faible emprise foncière</li> <li>○ Large contexte d'utilisation</li> <li>○ Pas de contrainte topographique majeure</li> <li>○ Coût peu élevé</li> <li>○ Pas besoin d'autre exutoire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nécessite de bien connaître le sol et sous-sol (notamment les conditions hydrauliques) via des essais préalables (perméabilité, caractérisation, etc.).</li> <li>○ Bien respecter le dimensionnement établi à la conception</li> <li>○ Contrôler la qualité des matériaux utilisés et leur porosité</li> <li>○ Attention au colmatage par les fines pendant la phase travaux : les réaliser à la fin ou les protéger</li> <li>○ Prévoir le fond de l'ouvrage au minimum à 1 m du toit de la nappe exploitée</li> <li>○ Par sécurité, prendre en compte uniquement les parois du puits pour le calcul du dimensionnement (risque du colmatage du fond)</li> </ul>

Figure 23 : intérêts et précautions liés aux puits

### 4.3.5. Les bassins

#### 4.3.5.1. Définition

Les bassins sont des ouvrages de stockage des eaux de pluie et peuvent assurer également un rôle de décantation et/ou d'infiltration. Ils sont enterrés ou à ciel ouvert, en eau de façon permanente ou à sec.

Les bassins à ciel ouvert sont conçus comme des espaces multi-usages, favorisant leur intégration dans le site. Outre leurs fonctions hydrauliques, ils apportent de nombreux bénéfices : amélioration de la qualité de vie, intégration paysagère, développement et maintien de la biodiversité, diminution des îlots de chaleurs urbains, etc. Ainsi, les bassins à ciel ouvert sont préférés aux ouvrages enterrés. Ces derniers apportent peu de bénéfices écosystémiques et génèrent des coûts en investissement et fonctionnement importants.



Figure 24 : photo d'un bassin, ZAC du Blanc Balot à Santes (crédit photo : Max Lerouge – Métropole Européenne de Lille)

#### 4.3.5.2. Intérêts et précautions

Types	Intérêts	Précautions
Bassins de stockage	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Augmentation importante des volumes de stockage avec quelques cm de profondeur en plus</li> <li>○ Bon comportement vis-à-vis de la pollution si prise en compte dans la conception</li> <li>○ Possibilité de piéger et traiter des pollutions accidentelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Entretien spécifique régulier nécessaire pour éviter les problèmes liés aux colmatage ou à la stagnation d'eau</li> <li>○ La conception doit inclure l'étude du fonctionnement en situation pluviométrique extrême</li> </ul>
Spécificités des bassins à ciel ouvert	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Contribution à l'aménagement et bonne intégration possible</li> <li>○ Possibilité de création de zones humides écologiquement intéressantes</li> <li>○ Nombreux bénéfices écosystémiques : amélioration de la qualité de vie, intégration paysagère, développement et maintien de la biodiversité,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Emprise foncière importante : la multifonctionnalité peut permettre de réduire les coûts</li> <li>○ Prétraitement nécessaire pour limiter les risques de colmatage/pollution de la nappe notamment en cas d'infiltration</li> <li>○ Bassin en eau : niveau d'eau minimal à maintenir même en période sèche</li> </ul>

	<p>diminution des ilots de chaleurs urbains...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mise en œuvre relativement facile et bien maîtrisée</li> <li>○ Bassins en eau : réserve incendie ou arrosage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Information nécessaire sur la fonction hydraulique des ouvrages accessibles au public</li> <li>○ Conception multi-usage à réserver au pluvial strict</li> <li>○ Dégradations fréquentes sur les ouvrages clôturés, moins sur les ouvrages aménagés et multi-usages</li> </ul>
Spécificités des bassins enterrés	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gain d'emprise foncière (possibilité d'aménagement au-dessus de l'ouvrage)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ouvrages souvent très techniques, avec des coûts de réalisation et de fonctionnement élevés</li> <li>○ Bien concevoir l'ouvrage en termes d'accessibilité et d'entretien</li> </ul>

Figure 25 : intérêts et précautions liés aux bassins

## 5. Etapes de définition et mise en œuvre d'une stratégie de désimperméabilisation

Une bonne connaissance des matériaux et techniques existants est une base nécessaire, mais pas suffisante pour définir une stratégie de désimperméabilisation. Ceci repose également sur différentes étapes, dont la définition d'objectifs de désimperméabilisation, l'analyse de paramètres permettant de choisir les solutions les plus pertinentes par rapport au contexte et enfin, la mobilisation d'outils et de leviers pour accompagner la vie des ouvrages de désimperméabilisation. Ces étapes sont présentées plus en détail dans ce chapitre.

### 5.1. Les principales étapes de définition et mise en œuvre d'une stratégie de désimperméabilisation pour les gestionnaires de surfaces revêtues

Mettre en œuvre une stratégie de désimperméabilisation des surfaces revêtues pour les gestionnaires s'appuie sur de nombreuses étapes, listées dans ce chapitre, et pour certaines, détaillées dans les chapitres suivants.

Une première étape consiste à définir les objectifs de désimperméabilisation des surfaces revêtues, en identifiant les enjeux auxquels le gestionnaire souhaite faire face : diminuer le risque de ruissellement et d'inondation ? Diminuer le risque de pollution d'un site par ruissellement ? Développer l'attractivité du cadre de vie en désimperméabilisant ? Le site de désimperméabilisation doit être choisi, ainsi que le niveau de désimperméabilisation attendu. Ce choix dépendra essentiellement du gestionnaire concerné : ce site peut correspondre à un réseau routier, à une ville, à un territoire plus vaste. Une fois cette étape réalisée, la création d'une équipe de travail multidisciplinaire permettra la mise en œuvre des étapes suivantes.

Vient ensuite une phase d'identification des solutions de désimperméabilisation. Cette phase s'appuie sur la connaissance des matériaux et techniques disponibles, ainsi que de leurs avantages et limites au regard de critères techniques, économiques, etc. Ensuite, il est nécessaire :

- D'analyser les enjeux et les caractéristiques techniques du site où la désimperméabilisation est souhaitée, afin d'identifier les zones les plus pertinentes à désimperméabiliser

- D'analyser les caractéristiques détaillées des zones dont les surfaces revêtues sont à désimperméabiliser, pour identifier au mieux les paramètres techniques qui permettront de choisir la solution de désimperméabilisation (matériaux ou techniques employées, dimensionnement)
- D'identifier les solutions de désimperméabilisation qui répondent au mieux aux paramètres identifiés au cours des étapes précédentes
- Le choix définitif des solutions retenues peut encore faire appel à des analyses socio-économiques si plusieurs solutions sont envisageables

Les gestionnaires doivent ensuite planifier la mise en œuvre des solutions identifiées, programmer et suivre les opérations. Différentes étapes vont ensuite devoir être réalisées tout au long de la vie des ouvrages de désimperméabilisation : connaître le patrimoine des ouvrages de désimperméabilisation, y compris l'état des ouvrages, organiser la surveillance et le suivi de l'état des ouvrages, anticiper l'entretien des ouvrages pour l'organiser au mieux dès leur conception et réajuster les politiques d'entretien si nécessaire.

La communication est un volet important de la désimperméabilisation : il est nécessaire de communiquer au mieux entre professionnels pour assurer le bon déroulé du projet de désimperméabilisation et une bonne gestion des ouvrages. Il ne faut pas non plus oublier de communiquer auprès des financeurs du projet : choix réalisés, bon déroulé du projet, vie des ouvrages... En outre, la communication à destination des usagers des surfaces revêtues et des réseaux d'eau a pour objectif la compréhension des enjeux de la désimperméabilisation et peut favoriser le bon usage des ouvrages. Elle permet également de tenir compte d'éventuels souhaits de la part des usagers. Il peut être également utile de collecter et partager les retours d'expérience avec d'autres acteurs ayant mis en place ou souhaitant mettre en place une stratégie de désimperméabilisation.

Enfin, une réflexion globale sur la planification et l'évolution du bassin versant dont les ouvrages recueillent et infiltrent les eaux est à prévoir dans tous les processus d'aménagements urbains. Cette réflexion doit être étendue à l'identification de leviers réglementaires et financiers qui permettront de faciliter la désimperméabilisation.

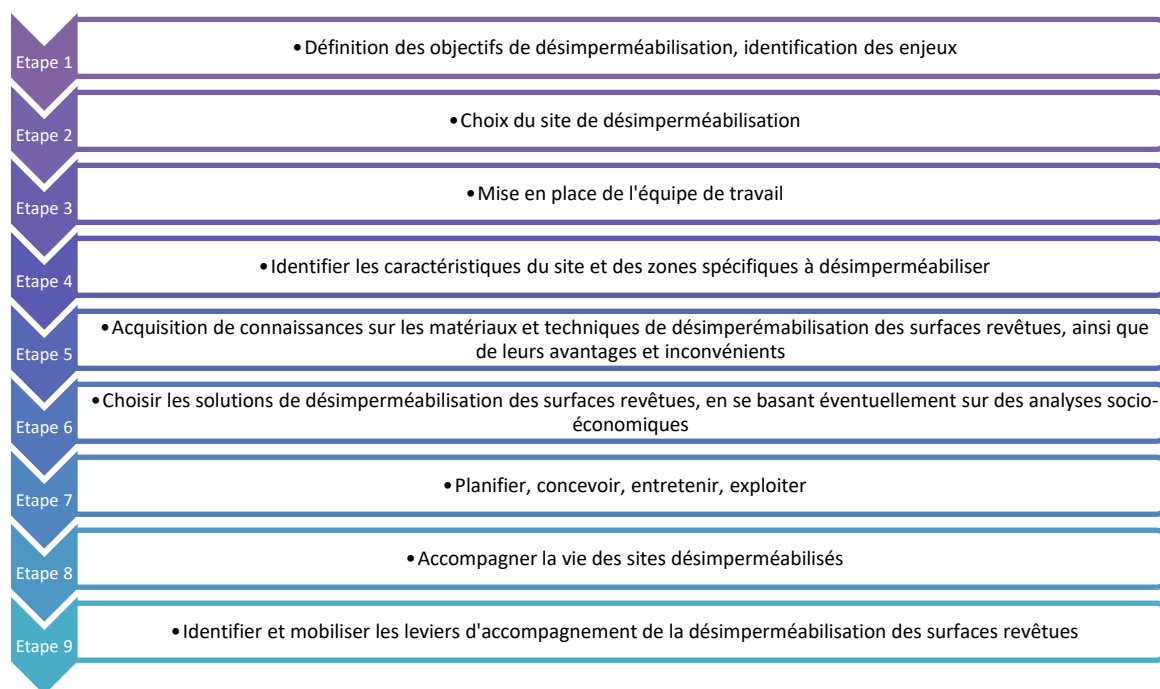


Figure 26 : étapes de définition et mise en œuvre d'une stratégie de désimpermeabilisation de surfaces revêtues (Cerema)

Certaines de ces étapes sont détaillées dans la suite de ce rapport.

## 5.2. Définition du niveau de désimpermeabilisation souhaité (étape 1)

L'imperméabilisation des sols peut être définie comme « le recouvrement permanent d'un terrain et de son sol par un matériau artificiel imperméable » (Commission européenne, 2012). Cette définition fait intervenir plusieurs notions techniques : la capacité d'un sol à générer un ruissellement plus ou moins important et sa perméabilité. Ces notions sont importantes pour le choix du niveau de désimpermeabilisation des sols.

Le ruissellement est défini comme le rapport entre la hauteur d'eau qui ruisselle à la sortie d'une surface considérée et la hauteur de pluie tombée sur cette surface. Ce coefficient dépend de l'imperméabilisation des sols et matériaux qui les recouvrent, mais également de leur pente, de la configuration des sites sur lesquels arrive les précipitations, de la végétation, etc.

Par ailleurs, la perméabilité d'un sol ou d'une surface revêtue caractérise son aptitude à laisser l'eau s'infiltrer et circuler sous l'effet d'un gradient hydraulique (Cerema, MEDDE, 2014a).

Pour un sol naturel, elle est définie par son coefficient de perméabilité, ou coefficient de conductivité hydraulique noté  $K$ , qui dépend de l'état hydrique du sol et de la viscosité du fluide considéré. Ce coefficient est variable dans le temps et dans l'espace, même si des valeurs type de ce coefficient peuvent être déterminées sous certaines conditions (écoulement unidirectionnel, milieu traversé saturé, conditions de température standard).

Pour un matériau de revêtement, les qualités « d'infiltrabilité » de ce matériau sont liées à sa compacité (en lien avec la mise en œuvre), à sa formulation de base, etc. Il n'existe pas de méthodologie harmonisée et normée de caractérisation de la perméabilité des matériaux de revêtement de surface. Tous les matériaux destinés aux surfaces de parking et autres devraient donc pouvoir être testés afin de statuer sur leur capacité à infiltrer. Pour ce faire, des essais doivent être

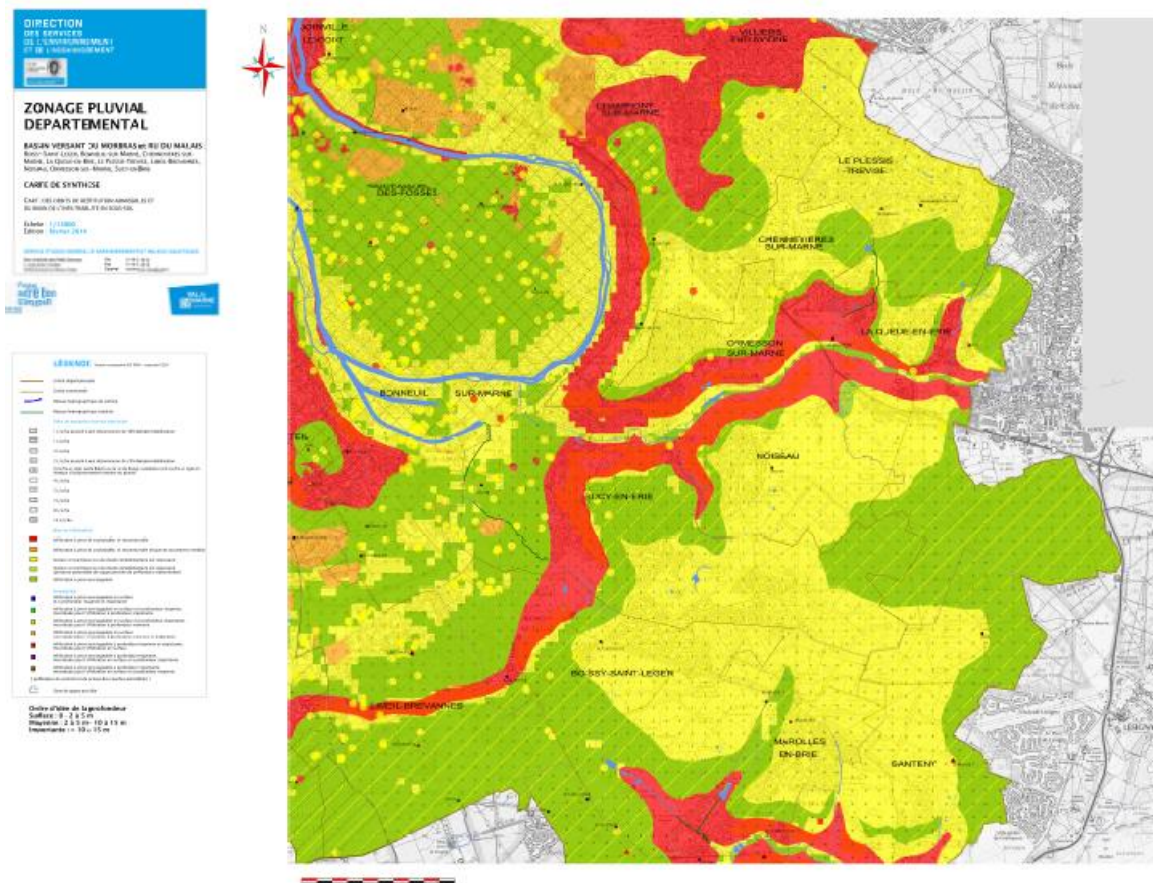
développés, en faisant varier notamment les caractéristiques des pluies simulées ou réelles sur des matériaux à tester. Enfin, il s'agit également de statuer sur la pérennité de « l'infiltrabilité » : en effet, les matériaux de surface peuvent subir des problèmes de colmatage qui viendraient supprimer le bénéfice de la possibilité d'infiltration.

### 5.3. Caractéristiques des sites à désimperméabiliser indispensables pour le choix des solutions techniques (étapes 4 et 5)

Une fois les objectifs de désimperméabilisation définis et le site sur lequel des surfaces revêtues doivent être désimperméabilisées, il est nécessaire d'identifier les caractéristiques du site, pour préciser les zones à désimperméabiliser. Ceci est d'autant plus valable si le site est vaste.

Les caractéristiques du site à désimperméabiliser qu'il est important d'identifier sont (Cerema, 2003 ; Certu, 2008 ; Grand Lyon, 2008 ; Grand Lyon, 2017) :

- Les éventuelles problématiques qui se posent sur le site : zone à risque inondation, à îlot de chaleur urbain, zone densément construite, etc.
- La topographie, l'hydrographie et la morphologie du site
- Le type de voirie ou autre surface revêtue présent sur le site, son usage et les contraintes liées
- Le type de milieu naturel présent sur le site à désimperméabiliser et ses sensibilités
- Les caractéristiques des sols revêtus et leur capacité d'infiltration
- L'occupation du sous-sol : la présence d'autres réseaux (gaz, électricité, égouts, métros, etc.) peut générer des contraintes pour le choix de la solution de désimperméabilisation
- Les paramètres pluviométriques
- Les exigences ou prescriptions réglementaires locales ; la désimperméabilisation peut aussi être encouragée localement par des leviers réglementaires



**Bilan de l'infiltrabilité**

- Infiltration à priori ni souhaitable, ni recommandée
- Infiltration à priori ni souhaitable, ni recommandée (risque de tassement remblai)
- Secteur à incertitude où une étude complémentaire est nécessaire
- Secteur à incertitude où une étude complémentaire est nécessaire (présence potentielle de nappe perchée de profondeur indéterminée)
- Infiltration à priori envisageable

Figure 27 : exemple de carte de synthèse mettant en avant l'infiltrabilité de différents secteurs (Conseil général du Val-de-Marne, 2014)

**5.3.1. Topographie, hydrographie et morphologie du site**

En ce qui concerne la topographie du site, il est intéressant de savoir si le site à désimpermeabiliser est une zone de production (la zone favorise la production de ruissellement), une zone d'accumulation ou encore, une zone d'écoulement préférentiel. Les analyses cartographiques pour déterminer ce type de zones en milieu urbain sont très complexes, par contre, hors milieu urbain, des approches cartographiques existent.

Même si la désimpermeabilisation est souhaitée dans une zone urbaine, il est utile de comprendre d'où vient le ruissellement, c'est-à-dire, de déterminer les zones de production et les axes d'écoulement pour pouvoir quantifier le risque de ruissellement et dans ces zones. Cela permet notamment de déterminer les zones de production dont le ruissellement s'écoule ensuite vers des



secteurs à risque, d’avoir une vision des trajets possibles de l’eau qui ruisselle, et d’identifier éventuellement ses sources de pollution.

Les voiries et autres surfaces revêtues peuvent constituer un axe d’écoulement préférentiel. Le Cerema a mené un travail pour développer une première approche méthodologique d’analyse cartographique de la vulnérabilité des réseaux de transport face au risque de ruissellement. Ce travail est présenté en annexe de ce rapport.

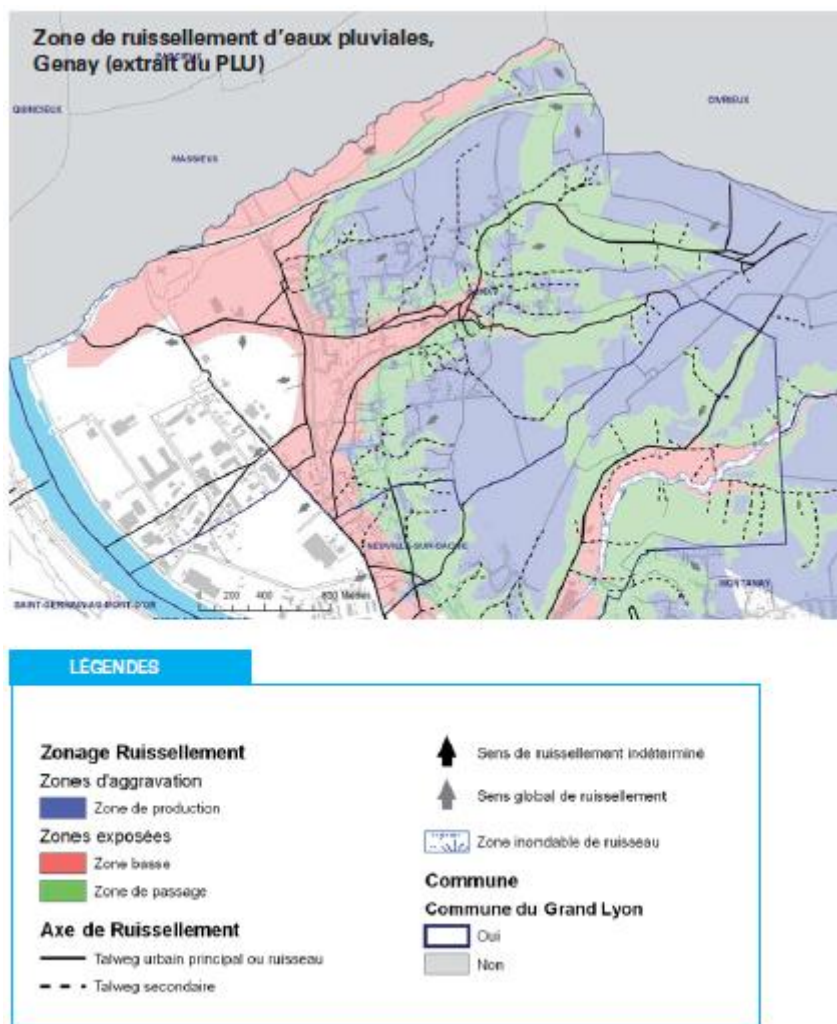


Figure 28 : extrait du PLU, Saint-Germain au Mont d'Or (Grand Lyon, 2008)

### 5.3.2. Type de surface revêtue, usages et contraintes

Parmi les types de voiries ou de surfaces revêtues (Cerema, 2019b), on retrouve :

- les routes principales. Ces surfaces revêtues sont larges, elles peuvent bénéficier de grands espaces dédiés à une gestion alternative des eaux pluviales, tels que les bassins de rétention. Elles comportent par ailleurs des espaces sur lesquels les eaux pluviales peuvent s’infiltrer : talus et terre-pleins. Le trafic peut y être dense, plus ou moins fluide, et des poids-lourds peuvent y circuler : ces paramètres peuvent fortement contraindre le choix des solutions de désimperméabilisation.
- les voies structurantes d’agglomération. Leurs caractéristiques sont très variables d’une zone urbaine à une autre. Ces routes peuvent être associés à des espaces végétalisables

relativement larges. Le trafic peut y être dense, plus ou moins fluide, et des poids-lourds peuvent y circuler : ces paramètres peuvent fortement contraindre le choix des solutions de désimperméabilisation.

- les autres types de voirie urbaine. Ces surfaces revêtues se situent souvent dans un milieu où l'espace disponible est contraint. Elles peuvent être bordées d'espaces végétalisés et associées à des surfaces qu'il est possible de désimperméabiliser, telles que les parkings. Le trafic et sa fluidité sont variables selon la voirie concernée.
- les pistes cyclables. Elles sont également souvent situées dans un milieu où l'espace disponible est contraint. Elles peuvent être reliées à des surfaces revêtues telles que les places publiques et être bordées d'espaces végétalisés (par exemple, des bandes enherbées ou des allées plantées) au niveau desquels les eaux pluviales peuvent être infiltrés. Les contraintes liées au revêtement de ces surfaces peuvent être moins fortes que pour les surfaces mentionnées précédemment.
- les parkings présentent des caractéristiques différentes des voiries, car la circulation y est limitée, les véhicules peuvent au contraire y stationner longtemps. Ils peuvent être plus ou moins végétalisés à l'aide de bandes enherbées entre les places de stationnement, d'arbres, etc.
- les trottoirs. Tout comme certains types de voiries et les pistes cyclables, ils peuvent être associés à des espaces végétalisés plus ou moins importants. Leurs dimensions sont généralement relativement limitées.
- les autres surfaces revêtues : places publiques, cours d'école, etc. Ces surfaces sont souvent plus ou moins végétalisées : pelouses, bandes enherbées, allées plantées, autres types d'espaces verts associés. Les contraintes de revêtement peuvent également être moins importantes que pour les autres types de surfaces revêtues.

Cette liste donne un premier aperçu des possibilités et contraintes de désimperméabilisation des surfaces revêtues, selon leur typologie : l'espace disponible, les usages et contraintes liées sur les revêtements, la présence de zones végétalisées sont autant de paramètres à prendre en compte pour le choix des techniques de désimperméabilisation.

En outre, les eaux pluviales qui ruissellent sur les surfaces revêtues peuvent se charger en polluants. Il est donc important de connaître également le niveau de trafic et sa fluidité sur les surfaces type voiries et parkings et/ou la politique d'entretien des surfaces revêtues : technique (notamment salage pour la viabilité hivernale) et fréquence. La longueur du chemin parcouru par l'eau ainsi que les autres éléments sur lesquels elle a pu tomber avant d'arriver jusqu'à la surface revêtue jouent également sur son éventuelle pollution.

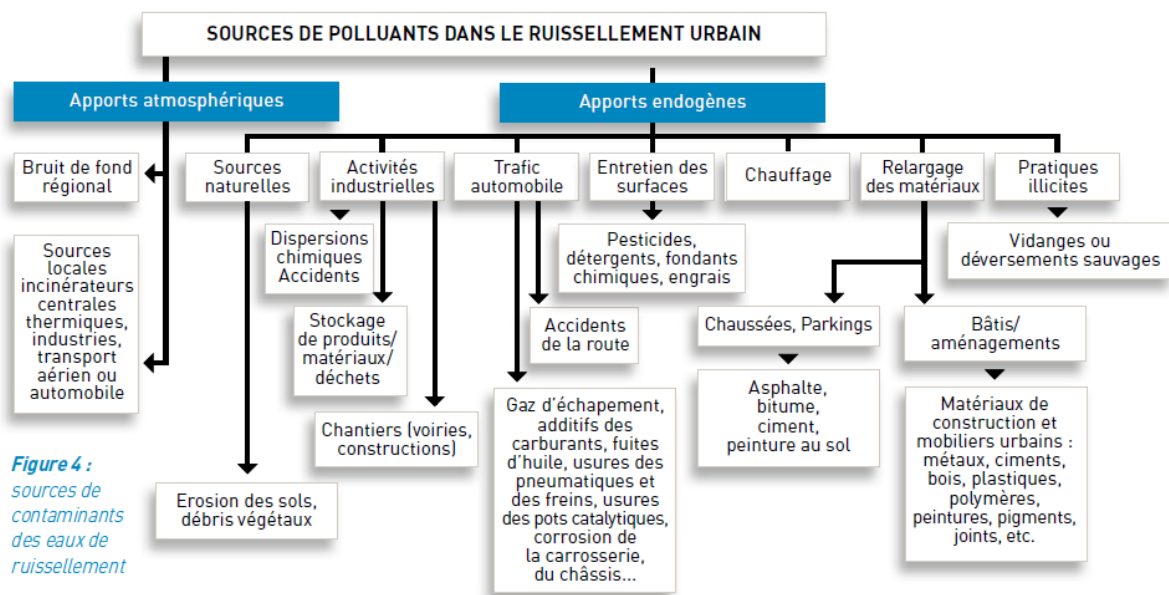


Figure 4 : sources de contaminants des eaux de ruissellement

Figure 29 : sources de contamination des eaux de ruissellement en ville (Eau Seine Normandie, 2018)

### 5.3.3. Type de milieu naturel présent et sensibilités

Le type de milieu naturel présent est un paramètre très important pour le choix des techniques de désimperméabilisation des surfaces revêtues : les éventuelles sensibilités de ces milieux influenceront nécessairement les choix. On peut citer les sensibilités suivantes, qui pourront faire l'objet d'études spécifiques selon les besoins :

- Les zones dans lesquelles il conviendra d'être vigilant face au risque inondation, en particulier : zones situées à proximité de cours d'eau, zones où une nappe est affleurante ou sub-affleurante
- Les zones avec une certaine sensibilité face au risque de pollution et qui peuvent donc faire l'objet d'une réglementation spécifique : périmètre de captage d'eau potable, zone Natura 2000 ou autre zone protégée, zones où une nappe est affleurante ou sub-affleurante, zones karstiques, sites et sols pollués, etc.
- Les zones à risque de mouvements de terrain : sols contenant du gypse (risque de dissolution et de déstabilisation des terrains), zones avec d'anciennes carrières, zones de forte pente, présence de remblais (selon leur qualité), zone à risque de retrait-gonflement des argiles, etc.
- La végétation et le climat sont également à prendre en compte : ils peuvent influencer sur le risque de colmatage des ouvrages et/ou impacter ces ouvrages (fissures, vieillissement prématuré, etc., avec les cycles de gel-dégel par exemple). Dans un contexte de changement climatique, certains de ces impacts s'aggraveront

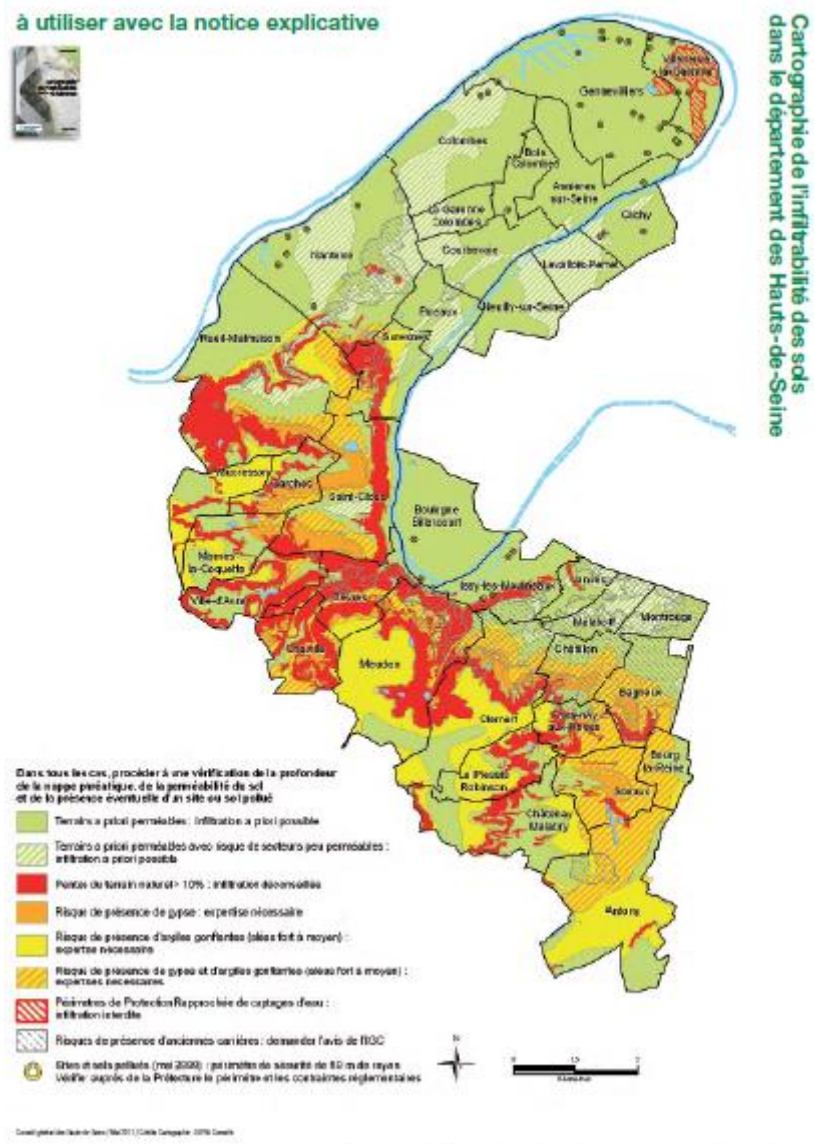


Figure 30 : cartographie de l'infiltrabilité des sols dans les Hauts-de-Seine (Conseil général des Hauts-de-Seine, 2011)

### 5.3.4. Caractéristiques des sols revêtus

Les sols sont plus ou moins perméables selon leur typologie. Le niveau de perméabilité des sols revêtus joue sur le choix des solutions de désimperméabilisation.

K (m/s)	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
Types de sols	Gravier sans sable ni éléments fins		Sable avec gravier, Sable grossier à sable fin		Sable très fin Limon grossier à limon argileux			Argile limoneuse à argile homogène			
Possibilités d'infiltration	Excellentes		Bonnes		Moyennes à faibles			Faibles à nulles			

Figure 31 : ordre de grandeur de la perméabilité de différents sols et possibilités d'infiltration (Musy A., Soutter M., 1991)

Dans les sols très perméables, le risque de pollution est important et des précautions particulières doivent être prises pour l'infiltration : couche filtrante, prétraitement de l'eau... Dans les sols très peu

perméables tels que les argiles, l'infiltration n'est pas directement possible, il est nécessaire d'identifier un exutoire.

Des études spécifiques doivent avoir lieu afin de déterminer le niveau de perméabilité du sol concerné par le projet de désimpermeabilisation et les solutions adaptées.

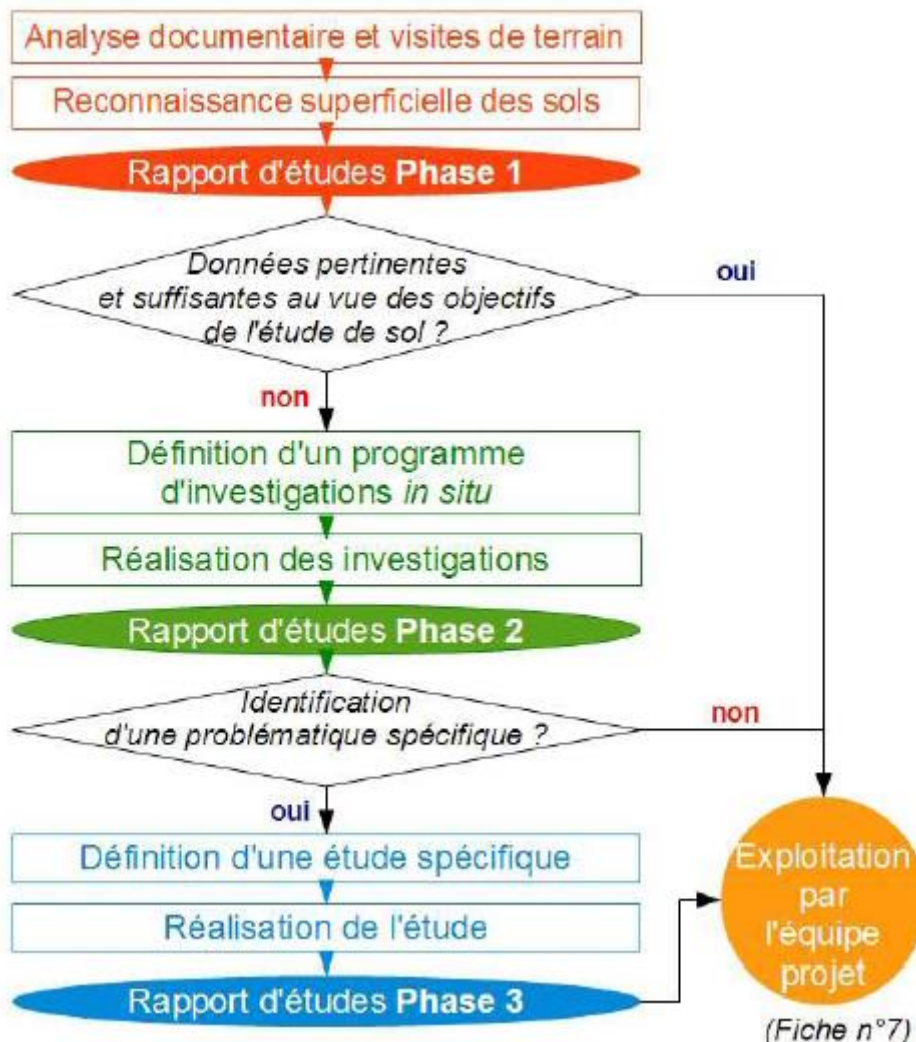


Figure 32 : logigramme du déroulement des études de sols préalables à la réalisation d'ouvrages de stockage des eaux pluviales (Cerema, MEDDE, 2014a)

### 5.3.5. Paramètres pluviométriques

Pour affiner le choix de la solution de désimpermeabilisation d'une part et pour dimensionner les solutions de désimpermeabilisation choisies d'autre part, les paramètres pluviométriques locaux doivent être analysés.

En effet, il est possible de définir des objectifs de niveaux de service des ouvrages de désimpermeabilisation, sur la base de paramètres pluviométriques (Cerema, 2003 ; Cerema, MEDDE, 2014b) :

- Dans le cas de pluies faibles, l'objectif peut être de mieux maîtriser les pollutions en évitant les rejets directs dans les milieux naturels et de constituer des réserves d'eau à réutiliser pour différents usages, si sa qualité le permet. Les solutions associées sont par exemple les bandes végétalisées le long de surfaces revêtues et les revêtements perméables
- Dans le cas de pluies « moyennes », l'objectif peut être de mieux maîtriser les pollutions et de limiter le ruissellement
- Dans le cas de pluies « fortes », la priorité est portée sur l'atténuation des inondations et de leurs conséquences ; la maîtrise des pollutions n'est plus nécessairement l'objectif principal. Les noues, chaussées à structure réservoir, bassins enterrés, etc., peuvent répondre à ces objectifs
- Lors de pluies « exceptionnelles », il est indispensable de pouvoir gérer au mieux les inondations, y compris les inondations par ruissellement, et leurs conséquences pour les habitants et usagers

Niveau	Objectifs	Exemples d'aménagement	Exemple de période de retour associée
<b>Niveau 1 :</b> pluies faibles	Maintien de la qualité des rejets et de l'impact sur le milieu Pas de rejet d'eau non traitée par les déversoirs d'orage Pas de débordement	Noues, tranchées, structures réservoirs... Pas de mise en charge dans les réseaux	< 0.5 à 6 mois
<b>Niveau 2 :</b> pluies moyennes	Impact limité et contrôlé sur la qualité du milieu naturel Surverses acceptées des déversoirs d'orage Pas de débordement	Noues, tranchées, structures réservoirs... Mise en charge des réseaux sans débordement Capacité maximale des ouvrages de stockage	< 2 à 30 ans
<b>Niveau 3 :</b> pluies fortes	Acceptation d'une détérioration de la qualité du milieu Débordements localisés et limités avec maîtrise du risque inondation	Débordement maîtrisé des ouvrages vers les espaces publics pour stockage et/ou évacuation vers un exutoire	< 20 à 50 ans
<b>Niveau 4 :</b> pluies exceptionnelles	Seule priorité : éviter la mise en péril des personnes Situation de catastrophe naturelle	Débordement généralisé	Exceptionnel ≥ à 100ans

Figure 33 : choix de niveau de services et ouvrages de désimperméabilisation (Office international de l'eau, 2014)

Pour cela, il est nécessaire de connaître les caractéristiques pluviométriques locales, c'est-à-dire de façon simplifiée, l'intensité et l'occurrence spatiale et temporelle (durée et période de retour) des pluies. Des études spécifiques sont nécessaires pour déterminer ces paramètres, car la pluie est un phénomène qui présente de grandes variabilités spatiales et temporelles. Il est également conseillé de prendre en compte les effets du changement climatique sur l'évolution des précipitations, en se basant sur les projections disponibles. Ces études, une fois la solution de désimperméabilisation choisie, permettront de dimensionner les ouvrages retenus.

#### 5.4. Points d'attention relatifs à la gestion des ouvrages de désimperméabilisation (étape 7)

La désimperméabilisation des surfaces urbaines revêtues est à l'interface de nombreuses expertises et métiers : urbanisme, gestion de l'eau, des voiries et des espaces verts, etc. Ainsi, la concrétisation d'un projet de désimperméabilisation met en jeu une très bonne coordination entre les différents acteurs, du choix de la solution de désimperméabilisation à son exploitation et son entretien, en passant par sa conception. L'identification des acteurs à impliquer dans ces processus et de leur périmètre d'intervention est indispensable. Ces rôles et champs d'action doivent être partagés dès la conception

de l'ouvrage. Pour une gestion optimale des ouvrages de désimperméabilisation (conception, entretien et exploitation), chaque acteur doit également être en mesure de bien comprendre les enjeux qui ont conduit au projet de désimperméabilisation, ainsi que le fonctionnement des ouvrages.



Figure 34 : exemple de coordination entre acteurs en charge de l'exploitation d'un ouvrage de désimperméabilisation (Grand Lyon, 2017)

Le Grand Lyon (Grand Lyon, 2017) souligne également la nécessité d'anticiper l'articulation entre concepteur et gestionnaire pour prévoir et adapter au mieux l'entretien des ouvrages en amont du projet. Il s'agit d'intégrer dans la réflexion liée à la conception de l'ouvrage :

- L'accessibilité piéton ou de véhicules d'entretien, à adapter selon les outils mobilisés et la fréquence d'entretien
- La sécurité des exploitants et des usagers
- Les usages futurs de l'ouvrage, pour anticiper des usages non prévus et prévenir d'éventuelles dégradations

Par ailleurs, un bon entretien repose notamment sur une bonne connaissance des caractéristiques et de l'état des ouvrages. Pour cela, il est utile de prévoir dès le début du projet la réalisation d'une base de données (Eau Seine Normandie, 2018) dans laquelle seront collectées des informations concernant la localisation d'un ouvrage donné, ses caractéristiques techniques (type d'ouvrage, règles et paramètres de dimensionnement, date de mise en service, etc.), les informations relatives à son entretien et à son exploitation (qui réalise l'entretien, à quelle fréquence, selon quelles modalités, y a-t-il eu des réparations, lesquelles, pourquoi, à quel coût), ainsi que toute autre information utile (qui est le propriétaire de l'ouvrage par exemple). La réalisation de visites d'entretien permettra d'effectuer le suivi des ouvrages et il est intéressant de pouvoir consigner les résultats des visites dans la base de données.

## 5.5. Accompagner la vie des sites désimperméabilisés à l'échelle du bassin versant (étape 8)

Le choix d'un ouvrage de désimperméabilisation d'une surface revêtue sur un site donné et son dimensionnement font appel à différents paramètres. Or, ces paramètres sont susceptibles d'évoluer du fait d'interventions humaines :

- les bassins versants des ouvrages de désimperméabilisation (zones de production) peuvent évoluer suite à des aménagements et en particulier, leur taux d'imperméabilisation peut augmenter. Dans ce cas, on assiste à une aggravation du ruissellement et l'ouvrage de désimperméabilisation peut alors être sous-dimensionné. Les axes d'écoulement préférentiels peuvent aussi évoluer suite à la construction de bâtiments ou de voiries par exemple, et rediriger certaines pluies au loin des ouvrages de désimperméabilisation.
- le type de surface revêtue peut également évoluer, et par conséquent, les usages et contraintes aussi. Pour les surfaces telles que les voiries et parkings en particulier, le niveau de trafic, sa fluidité, le passage de poids-lourds par exemple sont des paramètres importants pour choisir la solution de désimperméabilisation. Un changement de ces paramètres pourrait conduire à des dégradations des ouvrages de désimperméabilisation ou encore, à leur inefficacité.
- les sensibilités du milieu naturel peuvent évoluer : de nouvelles pollutions peuvent apparaître ou encore, le niveau de risques d'un site face aux inondations peut augmenter si celui-ci se trouve à proximité d'un cours d'eau endigué en amont par exemple
- l'occupation du sous-sol peut évoluer : nouveaux réseaux de gaz, d'électricité, de télécommunications, de transports souterrains...

Pour ces raisons, il est indispensable de mobiliser largement les acteurs et professionnels de l'aménagement du territoire à une échelle plus large que celle du site de désimperméabilisation. Pour ce faire, il est possible de passer :

- Par la mobilisation des différents acteurs de l'aménagement d'un territoire, en favorisant les échanges sur ce sujet lors de tout nouveau projet d'aménagement
- Par des leviers réglementaires : SDAGE, SCoT, PLU, zonages pluviaux, etc.
- Par de la sensibilisation : via des séminaires ou ateliers de travail ou en profitant des actions de valorisation des projets de désimperméabilisation des surfaces revêtues via des communications écrites ciblées ou les réseaux sociaux

## 5.6. Mobiliser les leviers réglementaires en faveur de la désimperméabilisation (étape 9)

Pour les collectivités, plusieurs leviers réglementaires existent pour inciter à la désimperméabilisation des surfaces revêtues (APUR, 2018).

A l'échelle du territoire, elles peuvent s'appuyer sur la disposition 5A-05 des SDAGE, qui vise à éviter, réduire et compenser l'impact des nouvelles surfaces imperméabilisées. La séquence « ERC » appliquée à la désimperméabilisation des surfaces revêtues cherche à (Comité de bassin Rhône Méditerranée, 2017) :

- éviter de créer de nouvelles surfaces imperméables lors de l'aménagement des villes. La renaturation des sols imperméabilisés étant un processus complexe, long et coûteux, le gouvernement a souhaité fixer l'objectif de « zéro artificialisation nette » d'ici 2030 dans son Plan biodiversité publié en 2018.



- réduire l'impact des nouveaux aménagements urbains sur l'imperméabilisation des sols, lorsque l'évitement n'est pas possible, en optimisant la transparence hydraulique des ouvrages et les capacités d'infiltration ou en privilégiant la mise en œuvre de techniques de gestion alternatives, par exemple.
- compenser toute nouvelle imperméabilisation, lorsque la réduction n'est pas possible. Dans le SDAGE du bassin Rhône-Méditerranée, cette mesure se traduit par une obligation de compenser 150% de la surface nouvellement urbanisée

Les collectivités territoriales ont également en charge la définition d'un zonage des eaux pluviales (article L.2224-10 du Code général des collectivités territoriales). Celui-ci permet de définir des mesures pour limiter l'imperméabilisation des sols et maîtriser les écoulements des eaux pluviales (Cerema, 2014). Les prescriptions du zonage pluvial peuvent être intégrés dans les documents d'urbanisme et notamment dans les PLU(i).

D'autres leviers en faveur de la désimperméabilisation peuvent être mobilisés dans le domaine de l'eau : règlement d'assainissement, Loi sur l'eau, etc. Par exemple, le règlement d'assainissement collectif peut imposer un débit de rejet maximal dans le réseau collectif : l'infiltration de l'eau à la source peut permettre d'atteindre cet objectif.

Les SCoT et les PLU(i) peuvent également être utilisés par les collectivités pour favoriser la désimperméabilisation (Comité de bassin Rhône Méditerranée, 2017 ; France stratégie, 2019). Au travers de ces outils, les collectivités peuvent :

- recommander de limiter l'imperméabilisation des sols en favorisant la mise en œuvre d'ouvrages types chaussées drainantes, places de stationnement enherbées, etc.
- favoriser la gestion des eaux pluviales à la source et leur infiltration. Par exemple, un SCoT peut définir des secteurs ouverts à l'urbanisation, mais avec des critères fixés de performance en matière d'infiltration des eaux pluviales.
- de fixer des coefficients pour favoriser la désimperméabilisation, tels que des surfaces minimales de zones perméables ou des surfaces d'imperméabilisation maximales (article L.151-22 du Code de l'urbanisme) ou de façon générale, limiter l'imperméabilisation dans les secteurs à enjeux par rapport aux inondations en particulier (article L.151-24 du Code de l'urbanisme).
- d'exposer les volontés des collectivités en matière de désimperméabilisation via les orientations d'aménagement et de programmation (articles L.151-6 et L.151-7 du Code de l'urbanisme).

Un levier supplémentaire a été introduit dans les PLU avec la loi ALUR. L'article L.111-19 du code de l'urbanisme, issu de cette loi, plafonne les superficies des parcs de stationnement des grands commerces à 0,75 fois la surface du bâti pour tous les permis de construire des bâtiments commerciaux déposés après le 1<sup>er</sup> janvier 2016. Le PLU peut augmenter ce plafond pour le porter à un ratio de 1. Cependant, les surfaces de stationnement perméables comptent pour moitié dans la superficie occupée, mesure forte en faveur de la désimperméabilisation.

En dehors des leviers réglementaires, peu de leviers financiers existent. Les collectivités ont la possibilité d'inscrire une aide à la désimperméabilisation des surfaces revêtues dans leurs programmes financiers. Les incitations fiscales existantes se focalisent avant tout sur la maîtrise de l'artificialisation.

## 6. Conclusion

Désimperméabiliser peut répondre à de nombreux enjeux auxquels sont confrontés les gestionnaires de réseaux, surfaces revêtues importantes en termes de superficie dans les zones urbaines.

L'identification des enjeux et la définition des objectifs de la désimperméabilisation sont cruciaux pour mener à bien un projet. Or, définir les niveaux de désimperméabilisation est délicat, car il n'existe aujourd'hui pas de caractérisation uniforme de ce concept, basée par exemple sur des mesures reproductibles. Une méthodologie partagée et normalisée de calcul d'un coefficient de perméabilité pourrait être intéressante dans ce contexte. Cela permettrait de définir le niveau de désimperméabilisation d'un revêtement selon différents types de pluies.

En dehors de cette limite, de nombreux éléments en faveur des démarches de désimperméabilisation sont mobilisables. Plusieurs matériaux et techniques existent déjà : revêtements poreux, chaussées à structure réservoir, noues, etc. Le choix d'un ou plusieurs de ces matériaux et techniques se base sur des critères clairement identifiés : type de sol sous la surface revêtue, usages des surfaces revêtues, paramètres pluviométriques, etc. L'analyse de ces paramètres, associés à des études socio-économiques, permet de définir des stratégies de désimperméabilisation, qui devront également s'appuyer sur différents leviers (communication, réglementaires, etc.) pour sa mise en place la plus efficiente possible.

Plusieurs axes de développement sont identifiables pour améliorer ces stratégies. L'application des démarches d'analyse socio-économiques à ce contexte en font partie, et notamment, les démarches type analyses coûts-efficacité. Par ailleurs, il pourrait être intéressant d'étudier l'impact de la désimperméabilisation sur des zones urbaines bâties de longue date autour de chaussées imperméables : quels impacts sur les fondations, sur les équilibres hydrologiques, sur la stabilité des sols, des pentes, etc. ?

## Bibliographie

Adopta, 2015. La gestion durable et intégrée des eaux pluviales. Philosophie et présentation de la boîte à outils des techniques alternatives. Présentation en ligne : <http://www.crdg.eu/component/jdownloads/send/83-inondations-coulees-de-boue/1158-intervention-adopta>

Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2012. Le cycle technique de l'eau. Illustration en ligne : [http://www.eau-loire-bretagne.fr/espace\\_educatif/outils\\_pedagogiques/tout\\_public/cycle-technique.pdf](http://www.eau-loire-bretagne.fr/espace_educatif/outils_pedagogiques/tout_public/cycle-technique.pdf)

APUR, 2015. Préservation et valorisation de la ressource en eau brute. Une gestion parisienne des eaux pluviales. 120 p. En ligne : <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/preservation-valorisation-ressource-eau-brute-une-gestion-parisienne-eaux-pluviales>

APUR, 2018. Référentiel pour une gestion à la source des eaux pluviales dans la métropole. Cahier 2. Comment gérer les eaux de pluie à la source. 60 p. En ligne : [https://www.apur.org/sites/default/files/documents/publication/etudes/referentiel\\_gestion\\_source\\_eaux\\_pluviales\\_metropole\\_cahier2.pdf](https://www.apur.org/sites/default/files/documents/publication/etudes/referentiel_gestion_source_eaux_pluviales_metropole_cahier2.pdf)

Cerema : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/ilots-chaleur-agir-territoires-adapter-villes-au-changement>. Site internet. Mis à jour en 2019

Cerema, 2003. La ville et son assainissement. Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau. En ligne : <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/ville-son-assainissement>

Cerema, 2018. Méthodologie de mesure de la portance des plates-formes (note d'information). Collection : Références. 23 p. En ligne : <http://dtrf.cerema.fr/pdf/pj/Dtrf/0007/Dtrf-0007712/DT7012.pdf?openerPage=notice>

Cerema, 2019a. L'artificialisation et ses déterminants d'après les fichiers fonciers – Synthèse du rapport de janvier 2020. 10 p. En ligne : <https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/sites/artificialisation/files/inline-files/synth%C3%A8se.pdf>

Cerema, 2019b. Catalogue des types de routes. 68 p. En ligne : <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/catalogue-types-route-amenagement-du-reseau-routier-national>

Cerema, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2014a. Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement au titre du Code de l'environnement rubrique 2.1.5.0 : rejets d'eaux pluviales. Etudes de sols pour les ouvrages d'infiltration ou de rétention d'eaux pluviales. Fiche instructeur n°6. 16 p. En ligne : [http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche\\_SPE\\_EP\\_etudes\\_sols\\_essentiel\\_decembre\\_2014.pdf](http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche_SPE_EP_etudes_sols_essentiel_decembre_2014.pdf)

Cerema, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2014b. Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement au titre du Code de l'environnement rubrique 2.1.5.0 : rejets d'eaux pluviales. Conditions pluviométriques locales. Fiche instructeur n°3. 16 p. En ligne : [http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche\\_SPE\\_EP\\_etudes\\_sols\\_essentiel\\_decembre\\_2014.pdf](http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche_SPE_EP_etudes_sols_essentiel_decembre_2014.pdf)

[durable.gouv.fr/documents/Fiche\\_SPE\\_EP\\_conditions\\_pluviometriques\\_integral\\_decembre\\_2014.pdf](http://durable.gouv.fr/documents/Fiche_SPE_EP_conditions_pluviometriques_integral_decembre_2014.pdf)

Cerema, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2014c. Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement au titre du Code de l'environnement rubrique 2.1.5.0 : rejets d'eaux pluviales. Principes généraux de gestion des eaux pluviales. Fiche instructeur n°1. 16 p. En ligne : [http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche\\_SPE\\_EP\\_principes\\_generaux\\_integral\\_decembre\\_2014.pdf](http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche_SPE_EP_principes_generaux_integral_decembre_2014.pdf)

Certu, 2008. L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement. Eléments clés pour le recours aux techniques alternatives. Edition 2008, 196 p.

Chouli E., 2006. La gestion des eaux pluviales urbaines en Europe : analyse des conditions de développement des techniques alternatives. Thèse de doctorat. 266 p. En ligne : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00002263/file/TheseChouli.pdf>

Comité de bassin Rhône Méditerranée, 2017. Vers la ville perméable. Comment désimpermeabiliser les sols ? 64 p. En ligne : <https://rhone-mediterranee.eaufrance.fr/vers-la-ville-permeable-comment-desimpermeabiliser-les-sols>

Commission européenne, 2012. Lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation des sols. Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne, 68 p. En ligne : [https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil\\_fr.pdf](https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_fr.pdf)

Commission européenne, 2017. Urban water atlas for Europe. Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne, 160 p. En ligne : <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/urban-water-atlas-europe>

Conseil général des Hauts-de-Seine, 2011. Cartographie de l'infiltrabilité des sols dans le département des Hauts-de-Seine, 2 p. En ligne : [https://www.hauts-de-seine.fr/fileadmin/user\\_upload/Mon\\_departement/01\\_Missions\\_et\\_actions/01.6\\_Eau/01.6.2\\_Les\\_eaux\\_pluviales/documents\\_a\\_telecharger/carto\\_infiltrabilite.pdf](https://www.hauts-de-seine.fr/fileadmin/user_upload/Mon_departement/01_Missions_et_actions/01.6_Eau/01.6.2_Les_eaux_pluviales/documents_a_telecharger/carto_infiltrabilite.pdf)

Conseil général du Val-de-Marne, 2014. Zonage pluvial départemental. 1 p. En ligne : <http://www.val-de-marne.gouv.fr/content/download/11164/84253/file/2.18-1%20Zonage%20pluvial%20d%C3%A9ptal%2094.pdf>

DREAL Centre-Val de Loire, 2019. La ressource en eau face au changement climatique. Quels impacts sur les milieux et les activités et quelles adaptations en région Centre-Val de Loire ? 7 p. En ligne : [http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/focuscc-eau-version-web\\_planches.pdf](http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/focuscc-eau-version-web_planches.pdf)

Eau Seine Normandie, 2018. Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zones urbaines. Document d'orientation pour une meilleure maîtrise des pollutions dès l'origine du ruissellement. 64 p. En ligne : <https://fr.calameo.com/subscriptions/5425462>

France stratégie, 2019. Objectif « zéro artificialisation nette » : quels leviers pour protéger les sols ? Dossier de présentation. 8 p. En ligne : <https://www.strategie.gouv.fr/publications/objectif-zero-artificialisation-nette-leviers-protger-sols>

Graie, 2014. Techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales – risques réels et avantages. Les revêtements poreux - infiltration directe des eaux de parking et de voiries tertiaires à travers le revêtement. 11 p. En ligne :

[http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/pluvial/TA\\_FreinsAvantages/EauxPluviales-outil-techniquesalternatives-revetementporeux-juin2014.pdf](http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/pluvial/TA_FreinsAvantages/EauxPluviales-outil-techniquesalternatives-revetementporeux-juin2014.pdf)

Grand Lyon, 2008. Guide à l'usage des professionnels. Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du Grand Lyon. 52 p. En ligne :

[http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user\\_upload/fichiers/site\\_eco/200806\\_gl\\_eaux\\_pluviales\\_pro\\_guide.pdf](http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_guide.pdf)

Grand Lyon, 2017. Guide d'aide à la conception et à l'entretien. Projet ville perméable. Comment réussir la gestion des eaux pluviales dans nos aménagements ? 82 p. En ligne :

[https://www.grandlyon.com/fileadmin/user\\_upload/media/pdf/eau/20170926\\_guide-projet-ville-permeable.pdf](https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/20170926_guide-projet-ville-permeable.pdf)

Le Nouveau N. et al., 2007. Structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) en assainissement pluvial : vers une classification des produits et retours d'expériences. Novatech n°1039. En ligne :

[https://www.researchgate.net/publication/27618409\\_Structures\\_alveolaires\\_ultra-legeres\\_en\\_assainissement\\_pluvial\\_vers\\_une\\_classification\\_des\\_produits\\_et\\_retours\\_d'experiences/link/54c3d9970cf2911c7a4ced9c/download](https://www.researchgate.net/publication/27618409_Structures_alveolaires_ultra-legeres_en_assainissement_pluvial_vers_une_classification_des_produits_et_retours_d'experiences/link/54c3d9970cf2911c7a4ced9c/download)

Le Nouveau N. et al., 2008. Stockage des eaux pluviales : un référentiel pour l'emploi des structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) en préparation. Eau, l'Industrie, les Nuisances, n° 305, 6 p.

Li Z. et al., 2018. A systematic literature mining of Sponge City: trends, foci and challenges standing ahead. *Sustainability*, 10, 19 p. En ligne :

[https://www.researchgate.net/publication/324693437\\_A\\_Systematic\\_Literature\\_Mining\\_of\\_Sponge\\_City\\_Trends\\_Foci\\_and\\_Challenges\\_Standing\\_Ahead](https://www.researchgate.net/publication/324693437_A_Systematic_Literature_Mining_of_Sponge_City_Trends_Foci_and_Challenges_Standing_Ahead)

Mairie de Paris : <https://www.paris.fr/pages/la-proprete-de-paris-au-fil-des-siecles-7309>. Site internet. Mis à jour en 2019.

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et al., sans date. Le cycle de l'eau. Fiche pédagogique, 4 p. En ligne : [http://www.lesagencesdeleau.fr/wp-content/uploads/2012/07/3-Fiche-cycle-de-leau\\_web.pdf](http://www.lesagencesdeleau.fr/wp-content/uploads/2012/07/3-Fiche-cycle-de-leau_web.pdf)

Montcoulon D. et al., 2014. Analysis of the French insurance market exposure to floods: a stochastic model combining river overflow and surface runoff. Dans : *Natural hazards and earth system sciences*, 14 (9), p.2469 - p.2485. En ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01070525/document>

Musy A., Soutter M., 1991. *Physique du sol*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romande, 3335 p.

Office international de l'eau, 2014. Cahier technique n°20. Les eaux pluviales. 52 p.

Office international de l'eau, 2017. Le grand cycle de l'eau. Illustration en ligne : <https://www.oieau.fr/Mediatheque/illustrations/le-grand-cycle-de-leau>

Ouzeau G. et al, 2014. Le climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle – Volume 4 – Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d’outre-mer. Ministère de l’écologie, du développement durable et de l’énergie, 64 p. En ligne : [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/ONERC\\_Climat\\_France\\_XXI\\_Volume\\_4\\_VF.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_Climat_France_XXI_Volume_4_VF.pdf)

Turenscape : <https://www.turenscape.com/project/detail/4629.html>. Site internet. Sans date de mise à jour.

Ville de Neuchâtel, 2004. Les revêtements perméables : Conseils pour la réalisation et l'entretien. Guide Nature en ville, Neuchâtel. 19 p. En ligne : <https://www.biodiversiteetbati.fr/Files/Other/DocComplGTBPU/F08-RevetelementsPermeables-Neuchatel.pdf>

Wang H. et al., 2018. A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city. *Science China Technological Sciences*, 61, p.317 – p.329. En ligne : <http://engine.scichina.com/publisher/scp/journal/SCTS/61/3/10.1007/s11431-017-9170-5?slug=fulltext>

La bibliographie générale suivante a aussi été utilisée :

Azzou Y., Alfakih E., Barraud S., Cres F-N., 1994, Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien. Ed. Tec et Doc, Lavoisier. 371 p.

CERTU, 2008, L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement. Éléments clés pour les recours aux techniques alternatives, 196 p.

IFSTTAR, 2011, Les structures alvéolaires ultralégères (SAUL) pour la gestion des eaux pluviales, Guide technique, 170 p.

Ce rapport s’est également appuyé sur des travaux de stagiaires du Cerema réalisés en 2020 :

- Lamia Djebra, qui a produit un rapport de stage intitulé : *Les techniques de désimperméabilisation au service de la gestion durable des eaux pluviales*
- Marion Panien, qui a produit un rapport intitulé : *La ville éponge au travers des infrastructures de transport : un concept performant d’adaptation et potentiellement d’atténuation au changement climatique.*

## Annexe : base d'une méthode d'analyse cartographique de la vulnérabilité des réseaux face au ruissellement

Cette annexe a été rédigée par Vincent Rémy, avec la participation de Manuel Collongues et Delphine Porcheron.

### 1. Introduction

Le ruissellement est une problématique particulièrement sensible pouvant altérer l'usage des axes de transport, voire dans certains cas les rendre impraticables et nécessiter leur fermeture par leur gestionnaire. Dans les vignobles de la côte des Bars, ce phénomène impacte, parfois fortement, l'aménagement du territoire.

C'est dans ce contexte que la Dtec ITM a sollicité le laboratoire de Nancy, dans le cadre de l'appel à projet Road&Eau lancé par la fondation FEREC, dans le but de réfléchir aux bases d'une méthode d'identification et d'analyse de la vulnérabilité des réseaux vis-à-vis du phénomène de ruissellement.

La présente note précise la démarche menée, les résultats atteints et les pistes restant à approfondir.

### 2. Ruissellement : définitions et territoire d'étude

#### 2.1. Définitions

Le ruissellement est la partie des précipitations, généralement constituée d'eaux pluviales, c'est-à-dire les eaux de pluies et de fonte des neiges, qui ne s'infiltre pas dans le sol et ne s'évapore pas dans l'atmosphère.

Dès lors que les capacités de rétention de la végétation et du sol superficiel sont dépassées (ruissellement hortonien) ou saturées, cette partie s'écoule en surface avant d'atteindre le réseau hydrographique, directement ou indirectement via un système d'évacuation anthropique.



Figure 35 : écoulement concentré © Est éclair

Le ruissellement urbain peut être considéré comme une fraction du ruissellement affectant les zones urbanisées. Il est caractérisé par des écoulements d'eaux par des voies inhabituelles et la submersion de zones normalement hors d'eau, à la suite de l'engorgement du système d'évacuation des eaux pluviales, lors de précipitations intenses.

Les eaux réellement issues du ruissellement urbain sont en général des eaux « claires », non chargées en matières en suspension.



*Figure 36 : écoulement d'eaux claires © RM.Jossart (CLP)*



*Figure 37 : saturation de réseau pluvial© lejsl*

Le risque encouru est alors d'autant plus élevé que l'aléa rencontre des enjeux - personnes et biens susceptibles d'être affectés - présentant une forte vulnérabilité.

Pour les infrastructures routières, les illustrations suivantes issues du territoire d'étude permettent de visualiser quelques types de désordres potentiellement rencontrés.





Figure 38 : exemples de désordres rencontrés © Est Eclair

Le ruissellement peut prendre différentes formes :

- Diffus lorsque son épaisseur est faible et que les filets d'eau buttent et se redivisent sur le moindre obstacle
- Concentré, organisé en rigoles parallèles le long de la plus grande pente : il peut commencer à éroder et marquer sa trace sur le versant
- En nappe, ce qui est plutôt fréquent sur les pentes faibles : il occupe alors toute la surface du versant

Le ruissellement est d'autant plus important que les terrains sont imperméables, le tapis végétal faible, la pente forte et les précipitations violentes.

## 2.2. Territoire d'étude

Dans le cas d'une étude connexe sur la thématique du ruissellement, menée par le Cerema Est pour la Direction Départementale des Territoires de l'Aube (DDT 10), des travaux ont été engagés sur la zone viticole « AOC champagne » de la côte des Bars.

Il a donc été choisi de travailler sur ce territoire, particulièrement sensible aux problématiques liées au phénomène de ruissellement.

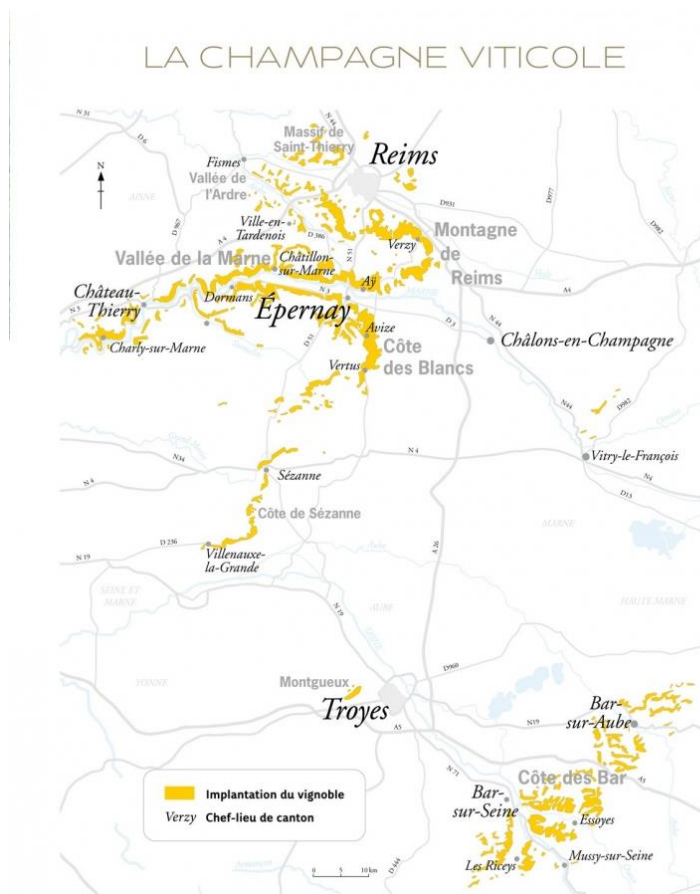


Figure 39 : Côte des Bars : la zone d'étude © CIVC

### 3. Méthode d'analyse de la vulnérabilité

#### 3.1. Caractérisation de la sensibilité du territoire à générer du ruissellement

Afin de pouvoir identifier la vulnérabilité des infrastructures de transport au phénomène de ruissellement, il convient dans un premier temps d'appréhender la sensibilité du territoire à générer du ruissellement afin d'identifier les zones les plus susceptibles de connaître des désordres.

La méthode CRUS (Caractérisation du Ruissellement de Surface), en cours de développement, a été utilisée pour déterminer cette sensibilité des sols à générer du ruissellement.

##### 3.1.1. Une composante sol intégrée

D'un point de vue technique, la méthode intègre à la fois des données sur la perméabilité et la battance des sols, sur l'occupation de ces derniers (types de cultures réalisées, etc.), ce qui permet de déterminer des zones de sensibilités préférentielles au ruissellement.

##### 3.1.1.1. Perméabilité et battance

Concernant ces données, c'est le référentiel régional pédologique de l'INRA à l'échelle du 1/250000ème © INRA, unité INFOSOL, Orléans 2013, 2014, 2017 qui a été exploité pour déterminer à la fois la perméabilité des unités cartographiques ainsi que leur battance, en s'appuyant sur les teneurs en sable, argile et limons des unités typologiques, obtenues après une extraction de la base.

##### 3.1.1.2. Occupation des sols

Différentes bases de données sont utilisées à ce niveau :

CORINE Land Cover, diffusée par le Ministère de la transition écologique dans le cadre du projet européen Copernicus. Il s'agit de la donnée la plus large en termes d'occupation biophysique des sols

- Registre Parcellaire Graphique (RPG), diffusé par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), sur la base de données fournies dans le cadre de la mise en œuvre des aides la Politique agricole commune (PAC) : données annuelles de déclaration des parcelles et îlots de cultures
- Données spécifiques locales : données parcellaires AOC vigne par exemple, fournies par la DDT 10

### 3.1.1.3. Pentes

Deux modèles numériques de terrain (MNT) de l'IGN peuvent être utilisées à ce niveau, la Bd alti<sup>®</sup> à 25 m et le RGE alti<sup>®</sup> 5 m.

Le choix a été fait ici d'utiliser le RGE alti<sup>®</sup> à 5 m, en raison d'un maillage plus fin et d'une meilleure représentation physique des territoires, pour lequel des classes de pente ont été définies et auxquelles une valeur a été attribuée. Sept classes de pentes ont été déterminées : 0-2 %, 2-5 %, 5-10 %, 10-15 %, 15-30 %, 30-50 %, >50 %.

#### *3.1.2. Détermination de la sensibilité à générer le ruissellement*

Un croisement des couches de SIG (Système d'information géographique) définies ci-dessus (occupation du sol, perméabilité, battance, pente) est opéré pour déterminer une couche unique. Cette couche résultante est un raster dans lequel chaque pixel est caractérisé par une combinaison de valeurs perméabilité/occupation du sol/pente.

A partir des valeurs obtenues dans l'arbre de décision, des matrices de sensibilité des sols à générer du ruissellement sont déterminées, avec ou sans battance, afin de bien visualiser l'influence notable de cette dernière.

La création des cartes de sensibilité des sols à générer du ruissellement (figure ci-dessous) correspond, in fine, à l'application d'une couleur (vert à noir) à chaque pixel en fonction de sa sensibilité, sur la base d'une grille de valeurs déterminées.

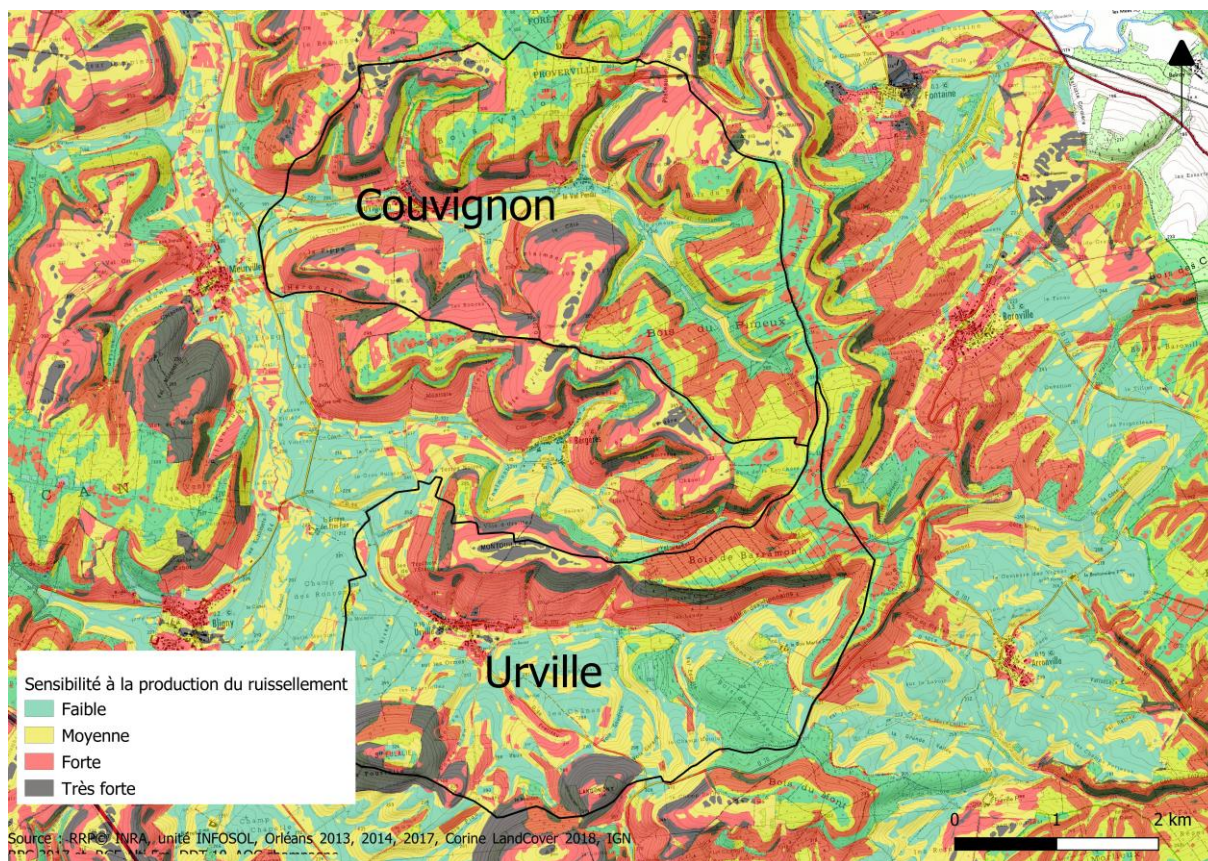


Figure 40 : exemple de carte de sensibilité à la production du ruissellement (Cerema)

### 3.1.3. Détermination du schéma de drainage, des axes de transfert et des zones d'accumulation

#### 3.1.3.1. Drainage

Une première étape a consisté à réaliser un traitement du RGE alti<sup>®</sup> 5 m afin de déterminer le réseau de drainage à partir de l'utilitaire Watershed D8 Multiflow de Qgis pour différents seuils de superficie de bassins versants (BV) (100 et 1000 cellules drainées ont été retenues après différents tests).

Pour chacun de ces seuils 100 et 1000, les points haut et bas de chaque BV sont déterminés, avec identification, à l'exutoire du BV, de la surface contributive de ce dernier et du ratio (en valeur absolue et en pourcentage de la superficie du BV) de chaque catégorie de sensibilité présente au sein du BV.

A ce niveau, un couplage « hydrologique » est en cours d'investigation, via l'utilisation de données pluviométriques de bassin à différentes occurrences/durées et une analyse sommaire de la dynamique de crue. L'objectif est d'évaluer les volumes susceptibles de s'écouler au sein d'un (ou d'un ensemble) de bassin versant et de guider les réflexions dans une perspective de mise en place de mesures de réduction de vulnérabilité.

#### 3.1.3.2. Accumulation

Les zones d'accumulation ont été déterminées à l'aide de l'outil EXZECO, développé par le Cerema dans le cadre de la Directive Inondation (DI).

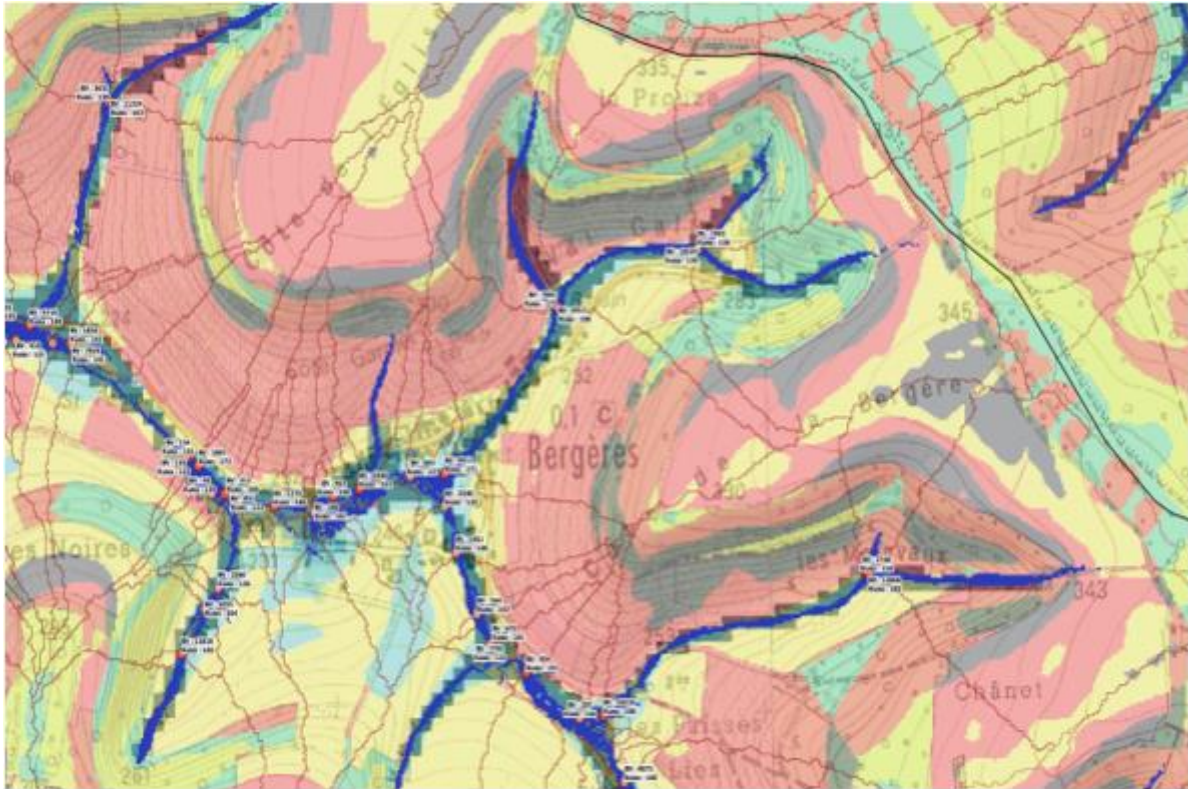


Figure 41 : illustration des axes de drainages préférentiels et des zones d'accumulation (Cerema)

### 3.1.4. Schéma de synthèse de la méthode

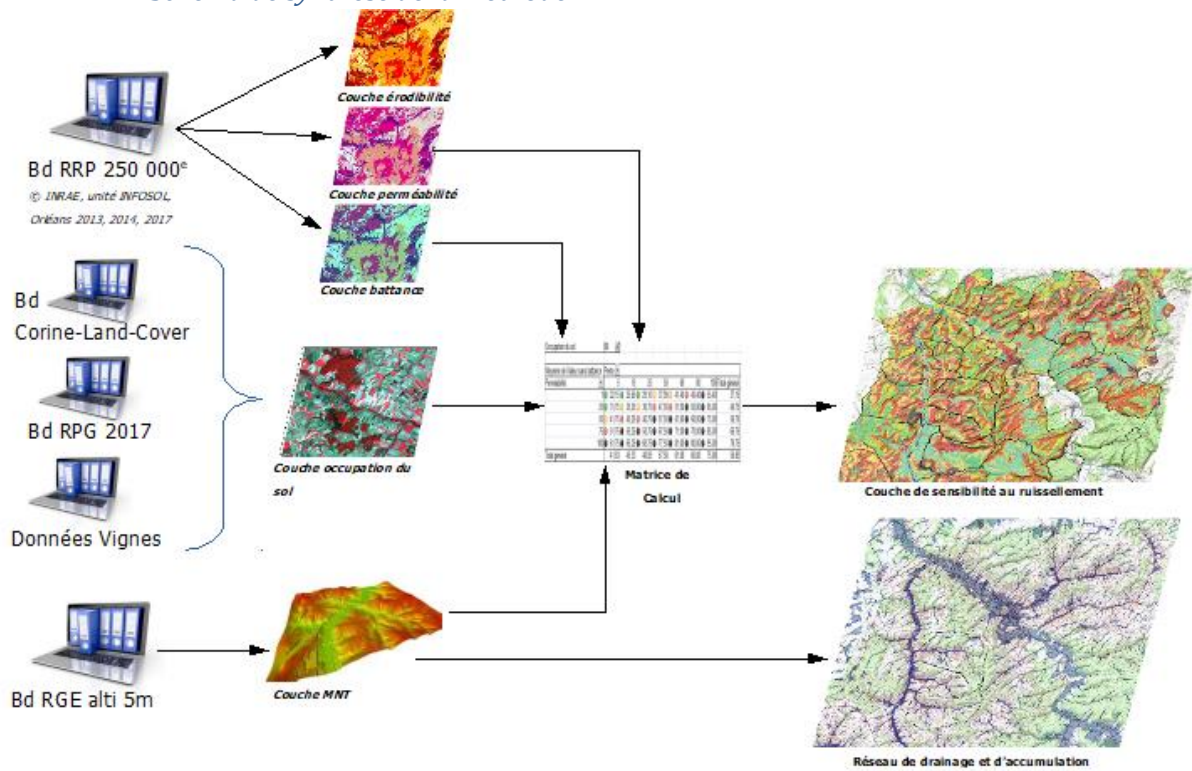


Figure 42 : schémas de synthèse du principe de la méthode CRUS (Cerema)

### 3.2. Modalité de définition des axes de transport

Plusieurs types d'infrastructures de transport peuvent être étudiées : routes, voies ferrées, voies d'eau, etc. Nous nous sommes ici intéressés aux infrastructures routières.

Afin d'identifier ces voiries routières, nous avons utilisé la Bd topo<sup>®</sup> de l'IGN et utilisé plus spécifiquement la couche (N\_ROUTE\_BDT\_10) spécifique de cette dernière, faisant la synthèse des 4 couches SIG suivantes :

- La couche route primaire
- La couche route secondaire
- La couche chemin
- La couche route nommée

Un travail spécifique de sélection des différents axes de même nom et d'assemblage des segments les constituant a été réalisé, formant ainsi des polygones vectorielles qui sont ensuite transformées en image raster.

### 3.3. Définition de la vulnérabilité des axes

Afin de caractériser la vulnérabilité des différents axes de transport, plusieurs éléments doivent être regardés. Ces éléments sont listés ci-dessous.

#### 3.3.1. Importance de l'axe

Plus un axe de transport sera structurant et emprunté par un nombre important de véhicules/jour ou voyageurs, plus sa vulnérabilité pourra être élevée.

Pour les axes routiers, l'importance de l'axe est déjà identifiée dans le fichier source, en lien avec son côté structurant. On y retrouve 4 classes administratives :

- Autoroutes
- Routes nationales
- Routes départementales
- Autres voiries (route à 1 chaussée, route empierrée, chemin, sentier)

#### 3.3.2. Position de l'axe par rapport à la zone d'écoulement

A ce niveau, deux situations principales peuvent être observées.



Cette situation peut conduire à avoir un axe de transport qui est totalement inexploitable, car il est emprunté par les écoulements hydrauliques. Cette situation peut par exemple être rencontrée au niveau des routes situées en fond de thalweg. Dans cette situation, il peut régulièrement arriver que l'axe de transport vienne conduire les écoulements vers les zones urbanisées.

La seconde va consister en une intersection entre l'axe de transport et les écoulements.

Cette intersection pourra être :

- ponctuelle lorsque c'est un axe de drainage préférentiel qui est intersecté ;
- linéaire dans le cas d'une intersection avec une zone de production sensible ou très sensible sur laquelle un écoulement laminaire pourra se produire en raison de la topographie du site. Dans ce dernier cas, l'axe de transport aura tendance à intercepter les écoulements et contribuer à leur propagation, allant parfois jusqu'à les conduire vers l'urbanisme.

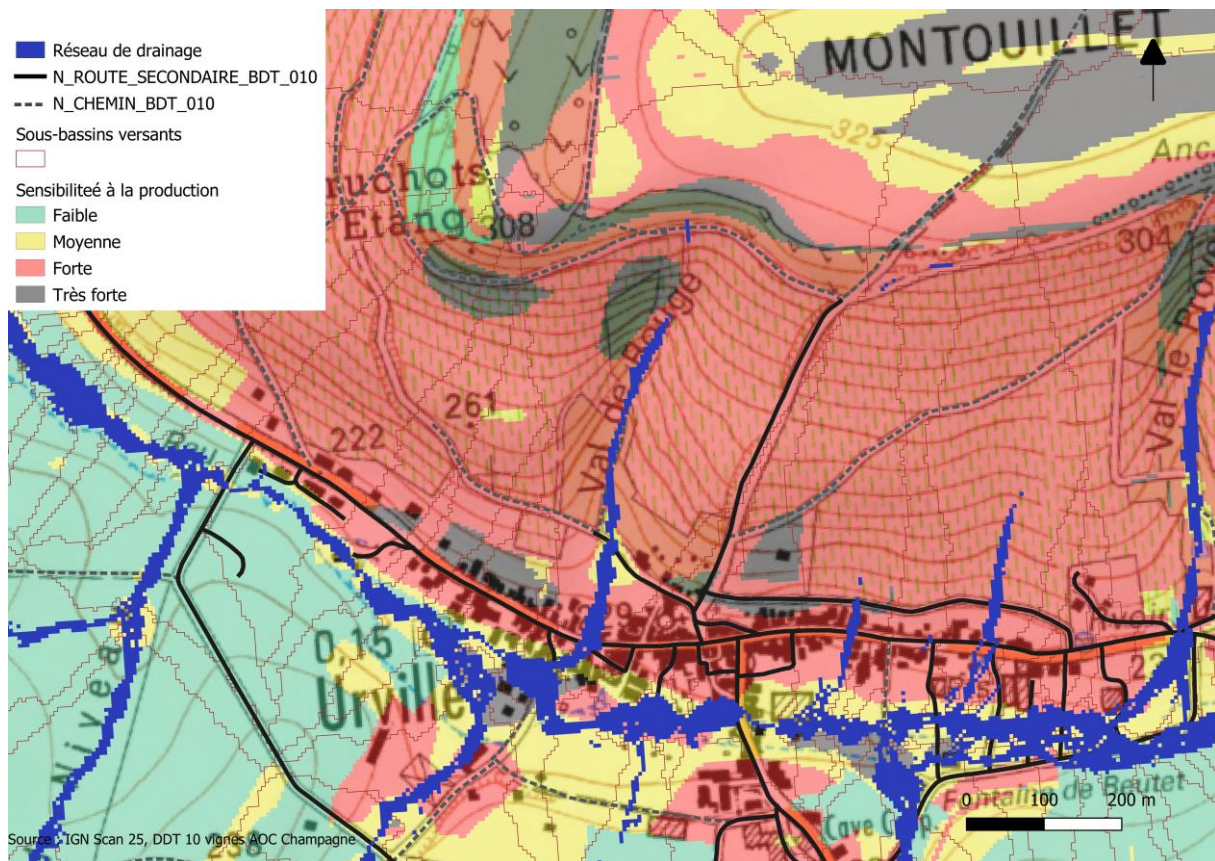


Figure 44 : illustration de l'intersection d'un axe de drainage préférentiel ou de sous-bassins versants avec une route (Cerema)

### 3.3.3. Sensibilité du bassin amont à générer du ruissellement

A surface équivalente, plus la sensibilité du bassin versant à générer du ruissellement sera forte, plus la vulnérabilité de l'infrastructure pourra être importante. En corollaire, à sensibilité équivalente, plus la surface d'un bassin versant sera grande, plus la vulnérabilité de l'infrastructure augmentera.



Dans le cas d'une infrastructure routière superposée à l'axe de drainage, la vulnérabilité de l'axe est d'autant plus importante que la sensibilité à générer du ruissellement est forte, et plus encore si le bassin versant est étendu.

La vulnérabilité globale pourra par ailleurs être accrue si une zone urbanisée se situe à l'exutoire de l'axe de transport.

#### *3.3.4. Hydrologie*

Le paramètre hydrologique a également toute son importance : il est nécessaire de pouvoir calculer et caler un certain nombre de paramètres (temps de concentration, coefficients de ruissellement et curve number, coefficients de Montana) pour appréhender les volumes potentiellement attendus à l'exutoire des bassins versants pour différentes occurrences d'évènement pluviométriques.

La morphologie du bassin versant a également son importance au niveau des temps de concentration. Ces derniers seront courts dans le cas d'un bassin versant ramassé avec un hydrogramme haut et étroit ; et plus longs dans le cas d'un bassin versant allongé avec un hydrogramme plus plat et étalé.

Ainsi, s'il va de soi que la vulnérabilité de l'infrastructure sera d'autant plus élevée que l'évènement pluviométrique est rare, le travail réalisé ici permettra une estimation des volumes à attendre.

### **3.4. Types de vulnérabilité définis**

En termes de représentation, deux types de vulnérabilité pourront être mis en évidence : la vulnérabilité ponctuelle et la vulnérabilité de sections.

#### *3.4.1. La vulnérabilité ponctuelle*

Il s'agira ici de l'intersection entre les pixels de l'infrastructure de transport et ceux de l'axe préférentiel de drainage. La surface de la zone d'intersection sera liée au nombre de cellules raster superposées et sa couleur sera liée au niveau de vulnérabilité estimé (fonction du type d'infrastructure, de la surface du bassin versant amont et de sa sensibilité à générer du ruissellement).

#### *3.4.2. La vulnérabilité de sections*

Dans le cas présent, deux type de sections peuvent être mis en évidence :

- Sections d'intersection entre les pixels de l'infrastructure de transport et ceux de petits bassins versants ne générant pas un axe préférentiel d'écoulement mais un écoulement laminaire : la longueur de la section sera liée au nombre de cellules raster superposées et sa couleur sera liée au niveau de vulnérabilité estimé (fonction du type d'infrastructure, de la surface du bassin versant amont et de sa sensibilité à générer du ruissellement)
- Sections de superposition entre les pixels de l'infrastructure de transport et ceux de l'axe préférentiel de drainage : la longueur de la zone d'intersection sera liée au nombre de cellules raster superposées et sa couleur sera liée au niveau de vulnérabilité estimé (fonction du type d'infrastructure, de la surface du bassin versant amont et de sa sensibilité à générer du ruissellement)

#### *3.4.3. Exemple de représentation*

Bien que le travail n'ait pu être mené à son terme, ni une analyse automatique réalisée, l'illustration ci-après présente le type de rendu qui pourrait être obtenu.

Les deux types de vulnérabilité identifiés ci-dessus peuvent y être visualisés avec un niveau de vulnérabilité associé.

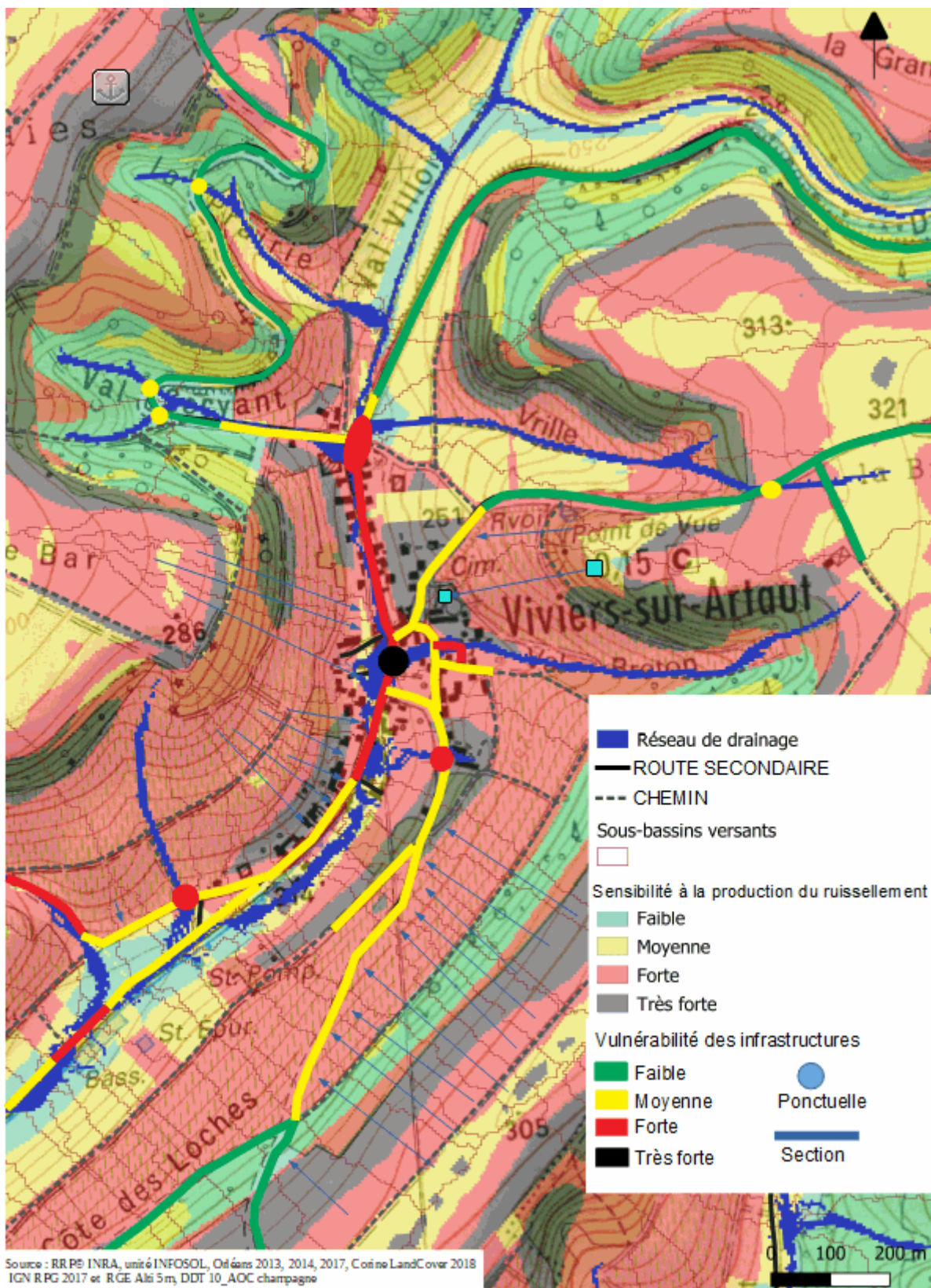


Figure 45 : exemple de rendu de vulnérabilité des infrastructures vis à vis du ruissellement (Cerema)

#### 4. Problématique des zones urbaines

Le travail réalisé en zone rurale ne peut pas être réalisé de la même manière en zone urbaine et l'approche relative à la « modélisation » des écoulements en milieu urbain s'avère beaucoup plus complexe.

A ce niveau, il apparaît nécessaire de disposer de données topographique très précises, à la fois en x/y (longitude/latitude), ainsi qu'en z (altitude) ce qui nécessite des levés spécifiques type LIDAR (Light Detection And Ranging), ainsi qu'un inventaire exhaustif des différents ouvrages de type buses/ponts ou encore des obstacles de type murets ou trottoirs surélevés, etc.

Par ailleurs, aux données de surface doivent également être couplées des données liées au réseau d'assainissement pluvial. Il est donc impératif d'avoir des données exactes, des plans, la capacité de ces derniers, etc. Il convient à ce niveau d'évaluer l'impact de coulées d'eau boueuse sur ces réseaux et leur efficacité.

Enfin, des perturbations anthropiques peuvent modifier de manière considérable les flux en zone urbaine. Par exemple, des embâcles générés par différents objets emportés par les flux (voitures, matériaux, mobilier urbain, etc.) sont de nature à modifier considérablement les flux et peuvent difficilement être pris en compte dans un tel travail de modélisation.

#### 5. Conclusion

Le laboratoire de Nancy a contribué au projet Road&Eau porté par le Cerema en réponse à l'appel à projet lancé par la fondation FEREC en travaillant sur la sensibilité d'infrastructures au ruissellement.

Les réflexions engagées à ce niveau ont permis de définir les bases d'une méthode d'analyse d'identification de la vulnérabilité des réseaux vis-à-vis du phénomène de ruissellement, en s'intéressant aux axes routiers dans un premier temps.

En s'appuyant sur la méthode CRUS de cartographie du ruissellement, en développement au Cerema, et en y couplant différents paramètres des axes de transport (importance de l'axe, position par rapport aux écoulements, intersection des axes de drainage préférentiels), la vulnérabilité de l'axe routier peut être appréhendée, de même que la vulnérabilité induite par l'axe routier sur la zone urbanisée.

Un travail de fond mériterait d'être poursuivi afin de créer des scripts de traitement de données visant la caractérisation automatique de la vulnérabilité de ces axes routiers. Un travail de terrain et de confrontation des cartographies à la connaissance des gestionnaires devra ensuite être mené pour consolider et perfectionner la méthode.

Cette méthode n'a pas vocation à caractériser la vulnérabilité des réseaux urbains pour laquelle l'approche est beaucoup plus complexe.

## Table des illustrations

Figure 1 : le grand cycle de l'eau (Office international de l'eau, 2017).....	6
Figure 2 : évolution de la gestion de l'eau avec l'évolution des types de chaussées (cité par APUR, 2015).....	7
Figure 3 : le petit cycle de l'eau (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2012) .....	8
Figure 4 : exemples d'impacts du changement climatique liés à l'eau, à l'échelle du bassin Loire-Bretagne (DREAL Centre-Val de Loire, 2019) .....	10
Figure 5 : modèle conceptuel de la ville éponge et de ses objectifs (Li Z. et al., 2018) .....	11
Figure 6 : vue sur une ville éponge après une inondation (Turenscape, sans date) .....	12
Figure 7 : phénomène d'îlot de chaleur urbain (Cerema) .....	14
Figure 8 : coupe transversale d'une structure type de chaussée (Cerema, 2018).....	15
Figure 9 : photo de SAUL (Cerema) .....	17
Figure 10 : exemple de chaussée à structure réservoir utilisant des chambres haute capacité (Adopta, 2015).....	18
Figure 11 : photo d'un parking équipé de dalles alvéolaire en PEHD (Cerema) .....	18
Figure 12 : coupes de revêtements perméables (Ville de Neuchâtel, 2004) .....	19
Figure 13 : principes de fonctionnement des chaussées à structure réservoir (Cerema) .....	20
Figure 14 : photo d'une chaussée à structure réservoir avec enrobé drainant à Douai (Cerema).....	21
Figure 15 : intérêts et précautions liés aux chaussées à structure réservoir .....	21
Figure 16 : photo d'une noue à Evin-Malmaison (Cerema) .....	22
Figure 17 : photo d'un fossé, ZAC du Blanc Balot à Santes (crédit photo : Max Lerouge – Métropole Européenne de Lille).....	22
Figure 18 : intérêts et précautions liés aux noues et fossés .....	23
Figure 19 : photo d'une noue avec cloison (Cerema) .....	23
Figure 20 : photo d'une tranchée drainante (Cerema) .....	24
Figure 21 : Intérêts et précautions liés aux tranchées drainantes .....	24
Figure 22 : photo d'un puit équipé d'éléments préfabriqués perforés (Cerema) .....	25
Figure 23 : intérêts et précautions liés aux puits .....	25
Figure 24 : photo d'un bassin, ZAC du Blanc Balot à Santes (crédit photo : Max Lerouge – Métropole Européenne de Lille).....	26
Figure 25 : intérêts et précautions liés aux bassins.....	27
Figure 26 : étapes de définition et mise en œuvre d'une stratégie de désimperméabilisation de surfaces revêtues (Cerema).....	29
Figure 27 : exemple de carte de synthèse mettant en avant l'infiltrabilité de différents secteurs (Conseil général du Val-de-Marne, 2014) .....	31
Figure 28 : extrait du PLU, Saint-Germain au Mont d'Or (Grand Lyon, 2008) .....	32
Figure 29 : sources de contamination des eaux de ruissellement en ville (Eau Seine Normandie, 2018) .....	34
Figure 30 : cartographie de l'infiltrabilité des sols dans les Hauts-de-Seine (Conseil général des Hauts-de-Seine, 2011).....	35
Figure 31 : ordre de grandeur de la perméabilité de différents sols et possibilités d'infiltration (Musy A., Soutter M., 1991) .....	35
Figure 32 : logigramme du déroulement des études de sols préalables à la réalisation d'ouvrages de stockage des eaux pluviales (Cerema, MEDDE, 2014a).....	36
Figure 33 : choix de niveau de services et ouvrages de désimperméabilisation (Office international de l'eau, 2014).....	37

Figure 34 : exemple de coordination entre acteurs en charge de l'exploitation d'un ouvrage de désimperméabilisation (Grand Lyon, 2017) .....	38
Figure 35 : écoulement concentré © Est éclair .....	46
Figure 36 : écoulement d'eaux claires © RM.Jossart (CLP).....	47
Figure 37 : saturation de réseau pluvial© lejsl .....	47
Figure 38 : exemples de désordres rencontrés © Est Eclair .....	48
Figure 39 : Côte des Bars : la zone d'étude © CIVC.....	49
Figure 40 : exemple de carte de sensibilité à la production du ruissellement (Cerema).....	51
Figure 41 : illustration des axes de drainages préférentiels et des zones d'accumulation (Cerema)...	52
Figure 42 : schémas de synthèse du principe de la méthode CRUS (Cerema).....	52
Figure 43 : illustration de la superposition d'un axe de drainage préférentiel avec une route (Cerema) .....	54
Figure 44 : illustration de l'intersection d'un axe de drainage préférentiel ou de sous-bassins versants avec une route (Cerema).....	55
Figure 45 : exemple de rendu de vulnérabilité des infrastructures vis à vis du ruissellement (Cerema) .....	57