



© Roannaise de l'eau



Evaluation socio-économique des « solutions fondées sur la nature » liées à l'eau : Retour d'expériences sur des territoires du bassin Loire-Bretagne

L'agglomération de Roanne



Rédacteur : Sophie NICOLAI

Rellecteurs : Aymeric DUPONT, Amandine MESLAND, Vincent NALIN, Hervé GILLIARD, Céline LAREURE

Date : 02/12/2021

Table des matières

1	L'ÉTUDE POUR L'AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE	5
2	LE TERRITOIRE DE ROANNE : PRÉSENTATION	8
3	LES SFN MISES EN ŒUVRE	10
4	LES COÛTS DES SFN ÉTUDIÉES.....	16
5	QUELS SONT LES IMPACTS DE LA MISE EN ŒUVRE DES SFN ?.....	21
6	QUELS SONT LES AUTRES ENJEUX LIÉS À LA MISE EN ŒUVRE DES SFN ?	36
7	BILAN ET PERSPECTIVES.....	40
8	RÉFÉRENCES.....	42
9	ANNEXES.....	43

Liste des figures

Figure 1 : Cadre conceptuel des solutions fondées sur la nature selon l'IUCN	5
Figure 2 : Cascade des services écosystémiques, d'après Potschin et Haines-Young	7
Figure 3 : Population du territoire Roannais (données Insee 2018)	8
Figure 4 : Station de traitement principale des eaux usées situées sur le périmètre du TRI de Roanne	9
Figure 5 : Chronogramme des actions mises en œuvre par Roannaise de l'eau	10
Figure 6 : Répartition des actions SFN par année (source : Roannaise de l'eau)	11
Figure 7 : Répartition du nombre d'actions par type de SFN	11
Figure 8 : Schéma d'une toiture végétalisée (source : fiche technique n°3 – ADOPTA)	12
Figure 9 : Noue enherbée à Commelle Vernay (source : Roannaise de l'eau)	12
Figure 10 : Schéma d'une noue d'infiltration (source : site internet ADOPTA)	12
Figure 11 : Jardin de pluie à Le Coteau (source : Roannaise de l'eau)	13
Figure 12 : Coupe jardin de pluie infiltrant (source : Guide Bâtiment Durable Brussels)	13
Figure 13 : Bassin d'infiltration de la salle de sports de Commelle Vernay (source : Roannaise de l'eau)	14
Figure 14 : Massif stockant de la place de l'église à Le Coteau (source : Roannaise de l'eau)	14
Figure 15 : SFN mises en œuvre depuis 2006	15
Figure 16 : Répartition du nombre d'actions SFN par commune	16
Figure 17 : Répartition de la surface traitée par commune	16
Figure 18 : SFN identifiées et impacts potentiels attendus sur les services écosystémiques	21
Figure 19 : Schéma de principe du déversoir d'orage (source : guide technique Engess)	25
Figure 20 : Principe de fonctionnement hydraulique du déversoir d'orage (source : guide technique Engess)	26
Figure 21 : Tonnage de CO ² stocké	30
Figure 22 : Panneaux d'information mis en œuvre par Roannaise de l'eau	35
Figure 23 : Impacts potentiels estimés ou non estimés des SFN sur les services écosystémiques	40
Figure 24 : Bénéfices résultant de la mise en œuvre des SFN (source : Eco Logique Conseil)	41

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les 3 catégories de mesures considérées dans l'étude	6
Tableau 2 : Coûts moyens d'investissement retenus	17
Tableau 3 : Coûts moyens d'investissement pour les noues d'infiltration (source : fiche technique n°1 – ADOPTA, traitement ELC)	17
Tableau 4 : Coûts moyens d'investissement pour les puits d'infiltration (source : fiche technique n°8 – ADOPTA, traitement ELC)	17
Tableau 5 : Coûts moyens d'investissement pour les toitures végétalisées (source : fiche technique n°3 – ADOPTA, traitement ELC)	17
Tableau 6 : Coûts moyens d'investissement pour mares (source : GRAIE - AERMC, traitement ELC)	18
Tableau 7 : Coûts d'investissement estimés	18
Tableau 8 : L'impact de l'entretien des SFN (source : guide technique sur la gestion intégrée des eaux pluviales – Loire-Foréz agglo)	20
Tableau 9 : Impacts potentiels des SFN et services écosystémiques associés	22
Tableau 10 : Liste des impacts potentiels selon le type de SFN mise en œuvre	23
Tableau 11 : Estimation des services rendus par les SFN sur la protection de la qualité de l'eau	27
Tableau 12 : Nombre de procédures administratives relatives aux risques inondations depuis 1983 (source : base de données Gaspar – www.georisques.gouv.fr)	28
Tableau 13 : Coût moyen des sinistres inondation de 1995 à 2018 (source : www.georisques.gouv.fr)	29
Tableau 14 : Fréquence observée de la pluviométrie sur le département de la Loire (source : Météo France)	29
Tableau 15 : Identification des SFN pouvant stocker du carbone	30
Tableau 16 : Valeur retenue pour le stockage du carbone	30
Tableau 17 : Valeur des tonnes de CO ² stockées par les SFN	32
Tableau 18 : Valeurs actualisées des tonnes de CO ² stockées par les SFN	32
Tableau 19 : Répartition des SFN par type et selon leur impact sur les réseaux	37
Tableau 20 : Coûts plafonds proposés par l'AELB pour la pose et la réhabilitation de réseaux gravitaires à surface libre pour les eaux usées (Source : appel à projets de travaux de réduction des rejets des réseaux d'eaux usées des collectivités, AELB, 2020)	37
Tableau 21 : Estimation des précipitations sur le département de la Loire (source : Eau France)	38
Tableau 22 : Surface déconnectée du réseau unitaire suite à la mise en œuvre de chantiers SFN (source : Roannaise de l'eau)	38
Tableau 23 : Coûts de traitement évités (Source : Eau France – SISPEA- traitement Eco Logique Conseil)	39

1 L'étude pour l'Agence de l'eau Loire-Bretagne

1.1 Ses objectifs

L'analyse des impacts liés à la mise en œuvre de solutions fondées sur la nature (SFN) à La Rochelle, présentée dans ce rapport, s'inscrit dans le cadre d'une étude pour l'agence de l'eau Loire-Bretagne visant à apporter des éclairages sur les impacts environnementaux, sociaux et économiques de SFN liées à l'eau mises en œuvre sur certains territoires du bassin Loire-Bretagne. À partir des résultats des analyses menées, l'étude développe un argumentaire explicitant le bienfondé des SFN pour répondre aux enjeux de gestion durable des milieux aquatiques et de la biodiversité dans un contexte de changement climatique.

1.2 Le cadre conceptuel des SFN

Les SFN sont des actions et projets qui visent à protéger, gérer durablement et restaurer les écosystèmes afin de répondre à des enjeux variés (changement climatique, gestion de la ressource en eau...) tout en protégeant le bien-être humain et la biodiversité (Tableau 1).



Figure 2 : Les Solutions fondées sur la Nature représentent un concept englobant diverses approches fondées sur les écosystèmes¹



© IUCN

Figure 1 : Cadre conceptuel des solutions fondées sur la nature selon l'IUCN¹

Les SFN incluent des actions comme la restauration des prairies, la création de mares et zones humides, la mise en place de haies ou de toits végétalisés pour limiter l'érosion, les écoulements d'eau et réduire la température en période de canicule. Le concept de SFN renvoie ainsi à la mise en œuvre d'une action concrète, qu'il s'agisse d'un projet de restauration, de gestion ou de protection.

¹ Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.) (2016). Nature-based Solutions to address global societal challenges, IUCN

Le plus souvent les actions SFN constituent une partie seulement du projet mis en œuvre. En effet, celui-ci comporte aussi des actions qui conditionnent l'efficacité de la SFN. Et l'impact obtenu est le résultat de la combinaison de la SFN avec d'autres actions. Dans l'étude, ces actions considérées ont été classées en trois catégories comme suit :

Tableau 1 : Les 3 catégories de mesures considérées dans l'étude

Les « solutions fondées sur la nature »	Des actions techniques qui viennent modifier le fonctionnement biophysique du système	Des mesures d'accompagnement.
Des actions visant à gérer, protéger ou restaurer des écosystèmes dans le but de relever les défis globaux en plus de conserver la biodiversité et d'assurer le bien-être humain. Ces actions permettent de bénéficier d'un fonctionnement <u>autonome, durable</u> pourvoyeur d'une <u>diversité de services</u> .	Elles sont pour objectifs de soutenir une mesure ou permettre sa mise en place mais n'ont pas forcément pour objectif premier l'amélioration de la biodiversité. Ces actions sont complémentaires dans le sens où elles permettent la réussite de la SFN, elles sont la partie « grise » qui permet d'amplifier ou d'accompagner la SFN en intervenant sur le <u>milieu physique</u> .	Elles peuvent être liées à des actions de communication, d'aide aux agriculteurs pour le développement de bonnes pratiques environnementales, de la sensibilisation auprès des visiteurs, etc... Ces actions-là interviennent sur les activités humaines.

1.3 La typologie des services rendus

Pour définir les impacts des SFN, la classification² des services écosystémiques telle que définie par le CICES (« Common International Classification of Ecosystem Services ») est utilisée (cf **annexe 9.1**). Ce cadre, développé à des fins de compatibilité environnementale par l'Agence Européenne de l'environnement est basé sur les travaux du MEA (Millennium ecosystem assessment)³ et de The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)⁴. Il prend en compte 3 des 4 catégories de services écosystémiques (SE) (biens produits par les écosystèmes, services de régulation, services culturels) et est basé sur une structure hiérarchique à 4 niveaux (section, division, classe, type de biens et services).

1.4 Des services rendus aux bénéfiques procurés

Une fois caractérisés les services rendus, l'étude vise à montrer les bénéfiques procurés et à évaluer leur valeur. Autrement dit, conformément à la cascade des services écosystémiques⁵, il s'agit de déterminer si les services rendus supplémentaires ont une incidence sur le système social et économique, une incidence positive constituant un bénéfice, et de chercher à donner une valeur monétaire à ces bénéfiques. Par ailleurs, les acteurs à qui les services rendus apportent un bénéfice seront identifiés.

² Haines-Young, R. and M.B. Potschin (2018): Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure

³ Millennium Ecosystem Assessment (2005), Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment, Island Press

⁴ Balmford A., Rodrigues A. S. L., Walpole M., ten Brink P., Kettunen M., Braat L. et de Groot R.(2008), The Economics of Biodiversity and Ecosystems: Scoping the Science. Cambridge, UK:European Commission

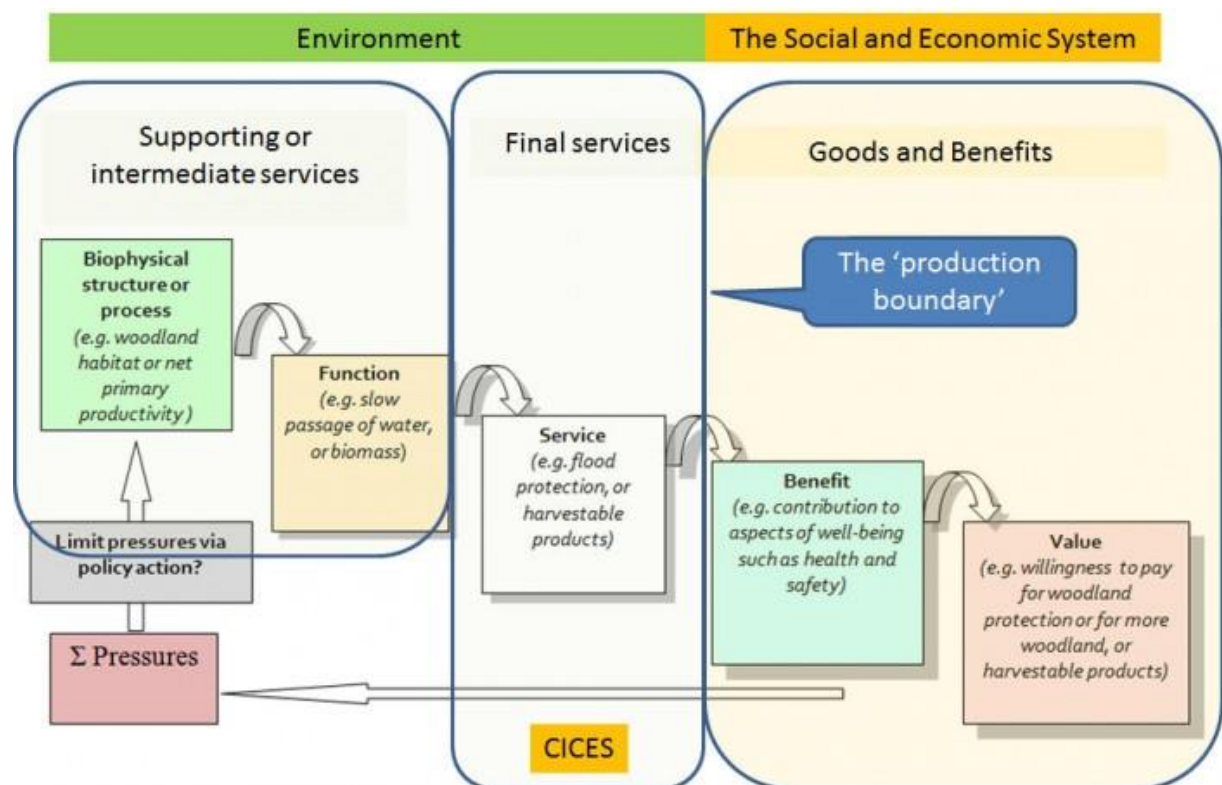


Figure 2 : Cascade des services écosystémiques, d'après Potschin et Haines-Young⁵

1.5 La démarche mise en œuvre

L'analyse des impacts des SFN sur le territoire Roannais a été réalisée en étroite collaboration avec Roannaise de l'eau et les acteurs du territoire. Différentes sources d'informations ont été mobilisées, en particulier : les études, rapports et bases de données se rapportant au territoire d'étude (voir bibliographie) ; des entretiens semi-structurés auprès d'acteurs clés du territoire permettant d'appréhender leurs perceptions d'impacts de mesures ou d'interventions (voir liste des acteurs interrogés en annexe) ; des enquêtes auprès de différents acteurs et publics cibles. Ainsi une enquête auprès des habitants du territoire Roannais a été réalisée via un formulaire en ligne sur les mois de juin à août 2021. L'objectif de cette enquête était de cibler la perception des impacts positifs et négatifs des SFN, principalement sur leur cadre de vie.

⁵ Haines-Young, R. and M.B. Potschin (2016): Defining and measuring ecosystem services. In: Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R. and Turner, R.K. (eds) Routledge Handbook of Ecosystem Services <http://www.routledge.com/books/details/9781138025080/>

2 Le territoire de Roanne : présentation

Le territoire étudié est celui de Roanne. Il est composé de 40 communes, principalement rurales, sur lesquelles on dénombre plus de 100 000 habitants. La commune de Roanne représente à elle seule près de 34% de l'ensemble de la population du territoire Roannais.

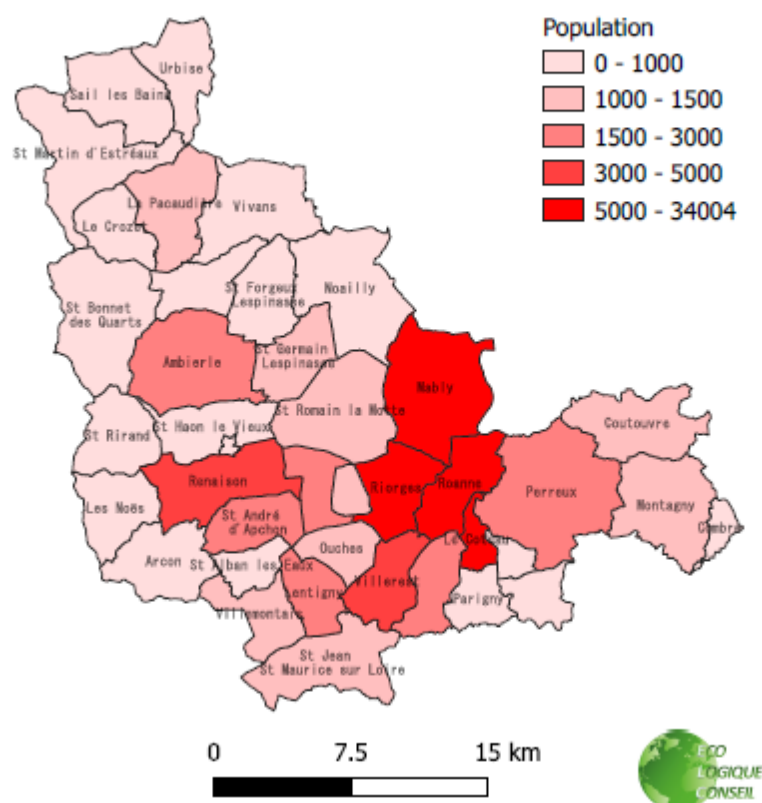


Figure 3 : Population du territoire Roannais (données Insee 2018)

Ces communes sont regroupées au sein de Roannais agglomération qui gère les compétences aménagement et développement du territoire, mobilités, habitat, culture, tourisme, enseignement supérieur – recherche – formation, eau et assainissement, agriculture et espace naturel, environnement et déchets, cohésion sociale, sport, accueil des gens du voyage et secours.

La compétence eau et assainissement a été confiée à Roannaise de l'eau qui s'occupe des réseaux d'assainissement des eaux usées, de l'assainissement non collectif, des eaux pluviales, de l'entretien de plusieurs rivières et de la prévention du risque d'inondation (GEMAPI).

Une partie du territoire Roannais est concernée par des risques d'inondation et est classée en territoire à risque important d'inondation (TRI). La carte suivante présente le TRI. Le territoire est en effet menacé par un risque inondation de la Loire, le Renaison, l'Oudan, le Rhins, pouvant provoquer une rupture du barrage de Villerest

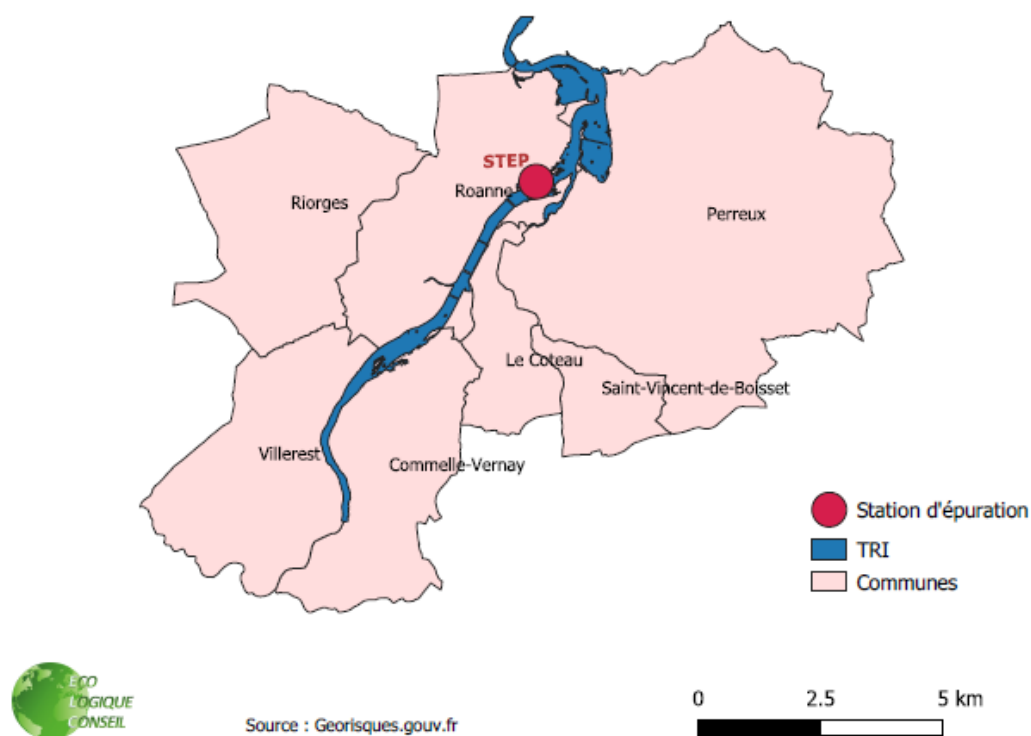


Figure 4 : Station de traitement principale des eaux usées situées sur le périmètre du TRI de Roanne

Roannaise de l'eau conseille les communes qui souhaitent mettre en œuvre une action de gestion des eaux pluviales. Avant chaque projet, les communes sollicitent l'aide de Roannaise de l'eau par rapport à la solution la plus adaptée. Roannaise de l'eau les accompagne également dans les demandes de financement, notamment auprès de l'agence de l'eau. À la fin du chantier, des panneaux d'information sont, en principe, installés afin d'informer le public sur la SFN mise en œuvre.

Depuis plusieurs années, Roannaise de l'eau promeut les SFN par diverses actions tels que des actions d'action communicantes et de sensibilisation, l'organisation de groupes de travail avec les différents interlocuteurs concernés par la gestion des eaux pluviales.

Le chronogramme suivant présente la mise en œuvre progressive des différents types de SFN sur l'agglomération de Roanne. Ces actions ont été associées à différents documents stratégiques, à des groupes de travail, à la mise en œuvre d'actions communicantes et de sensibilisation. Depuis 2017, deux animateurs dédiés à la gestion des eaux pluviales conseillent les communes à chacun de leur projet.

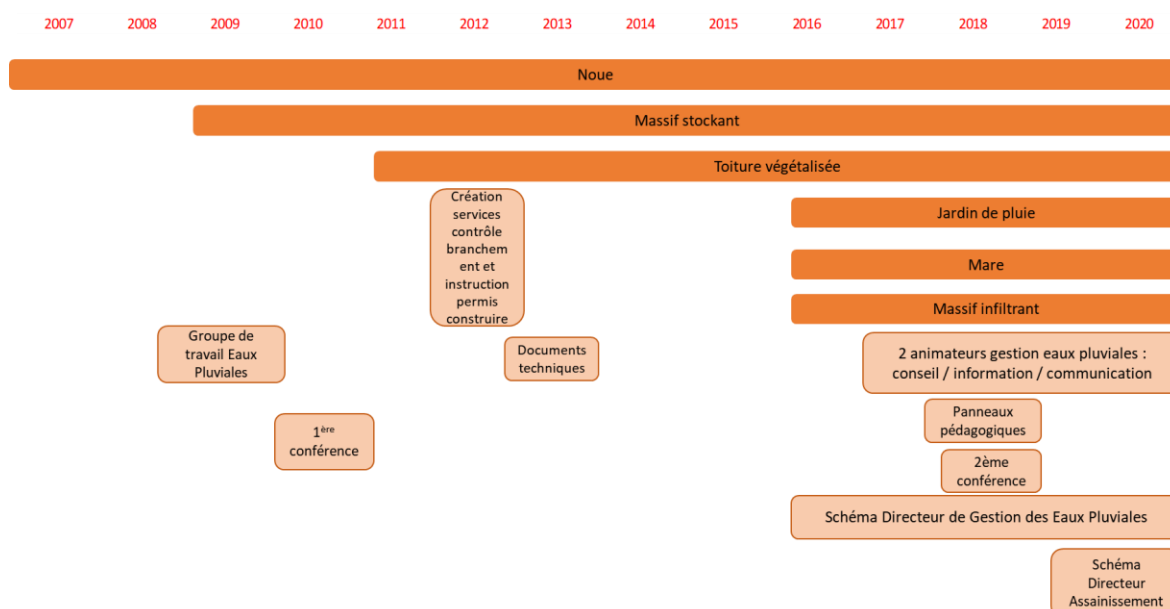


Figure 5 : Chronogramme des actions mises en œuvre par Roannaise de l'eau

3 Les SFN mises en œuvre

Le cas d'étude se focalise sur la gestion des eaux pluviales. Depuis plusieurs années, Roannaise de l'eau propose en priorité, lorsque cela est possible, le recours au génie écologique plutôt qu'au génie civil.

Les solutions fondées sur la nature permettent de gérer les eaux pluviales à la parcelle. Ainsi l'eau de pluie doit s'infiltrer dans le sol à l'endroit où elle tombe. Sur un territoire artificialisé, cela permet d'éviter que les eaux ruissellent et viennent charger les réseaux d'eaux pluviales ou d'eaux usées (selon si la commune dispose de réseaux unitaires ou séparatifs). En cas de pluie trop importante, ces réseaux peuvent déborder et provoquer des inondations et des pollutions.

Entre 2006 et juin 2021, Roannaise de l'eau a capitalisé 165 chantiers pour la gestion des eaux pluviales sur territoire Roannais. Ces chantiers comportent du génie écologique, du génie civil ou les deux à la fois. Le graphique suivant présente le nombre de chantiers mis en œuvre sur les communes de l'agglomération entre 2006 et 2021.

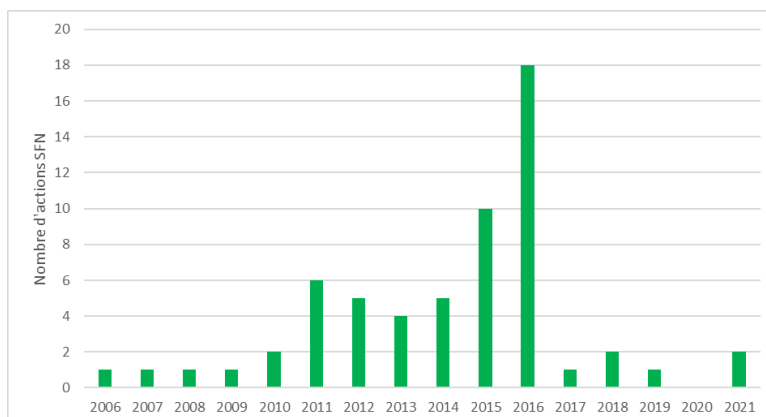


Figure 6 : Répartition des actions SFN par année (source : Roannaise de l'eau)

Pour départager, parmi ces 165 actions, celles qui relevaient des solutions fondées sur la nature, la définition suivante a été utilisée. Une solution fondée sur la nature est **une action visant à gérer, protéger ou restaurer des écosystèmes dans le but de relever les défis globaux en plus de conserver la biodiversité et d'assurer le bien-être humain.**

Ainsi, 8 catégories d'ouvrage ont pu être retenues : jardin de pluie, noue végétalisée, noue enherbée, bassin sec d'infiltration, massif infiltrant, massif stockant, mare et toiture végétalisée.

Ces ouvrages sont considérés comme des SFN car ils permettent d'infiltrer la pluie au maximum à l'endroit où elle tombe en mettant en œuvre essentiellement du génie écologique.

Le graphique suivant présente la répartition de ces actions selon leur catégorie sur l'ensemble de l'agglomération.

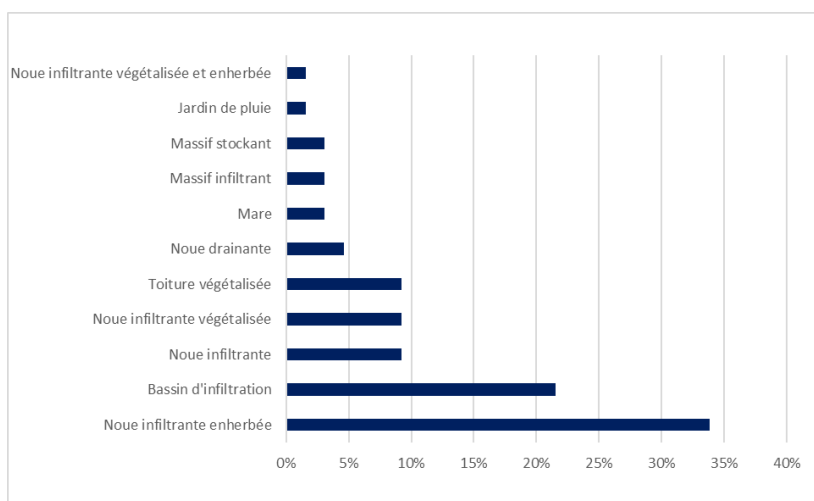


Figure 7 : Répartition du nombre d'actions par type de SFN

3.1 Présentation des SFN retenues

3.1.1 La toiture végétalisée

La toiture végétalisée consiste à planter des végétaux sur un toit. Ses objectifs sont triples :

- Retenir l'eau de pluie et éviter qu'elle transite dans les gouttières,
- Apporter de la nature en ville,
- Diminuer la température en ville grâce à l'évaporation,
- Contribuer au confort thermique et acoustique des logements ou bureaux.

Selon l'importance des végétaux implantés, une toiture végétalisée peut-être de trois types : intensive, semi-intensive ou extensive.

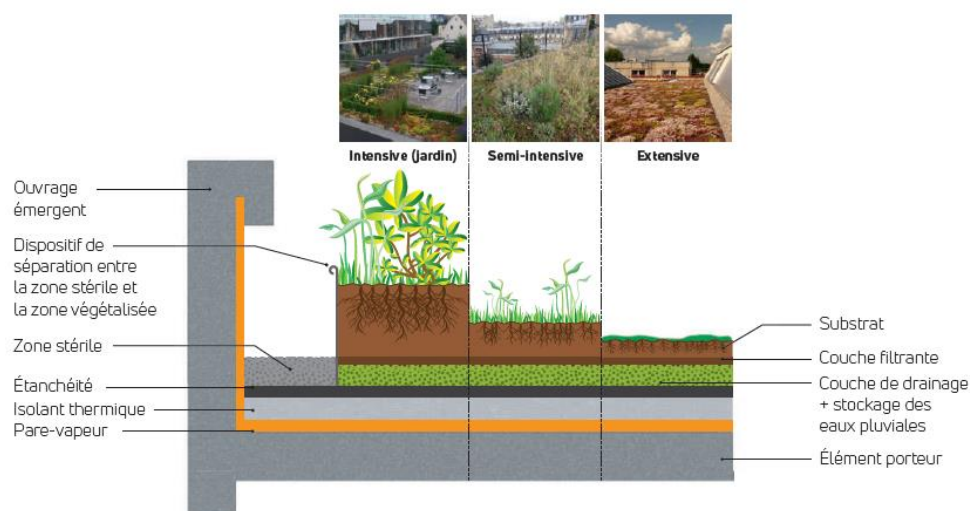


Figure 8 : Schéma d'une toiture végétalisée (source : fiche technique n°3 – ADOPTA)

3.1.2 Les noues

Une noue est un large fossé qui permet la rétention et l'infiltration des eaux pluviales. Il s'agit d'un système peu profond qui fonctionne à partir de pentes douces.

Les noues peuvent être de plusieurs types, elles peuvent être enherbées ou végétalisées :

- Noue d'infiltration simple,
- Noue d'infiltration avec tranchée d'infiltration



Figure 9 : Noue enherbée à Commelle Vernay (source : Roannaise de l'eau)

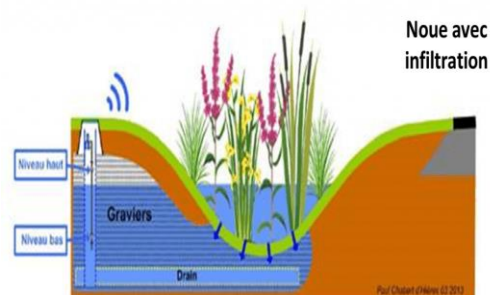


Figure 10 : Schéma d'une noue d'infiltration (source : site internet ADOPTA)

3.1.3 Le jardin de pluie

Un jardin de pluie est une dépression peu profonde et plantée. Sa fonction principale est celle d'un jardin, associée à une gestion quantitative et qualitative des eaux de ruissellement. En effet, le jardin de pluie permet le stockage, l'évapotranspiration, l'infiltration des eaux de ruissellement et éventuellement l'évacuation à débit régulé mais les végétaux assurent la gestion naturelle du cycle de l'eau via le bio-rétention⁶.

Le jardin de pluie peut-être de trois types : infiltrant, drainant ou semi-infiltrant.



Figure 11 : Jardin de pluie à Le Coteau (source : Roannaise de l'eau)

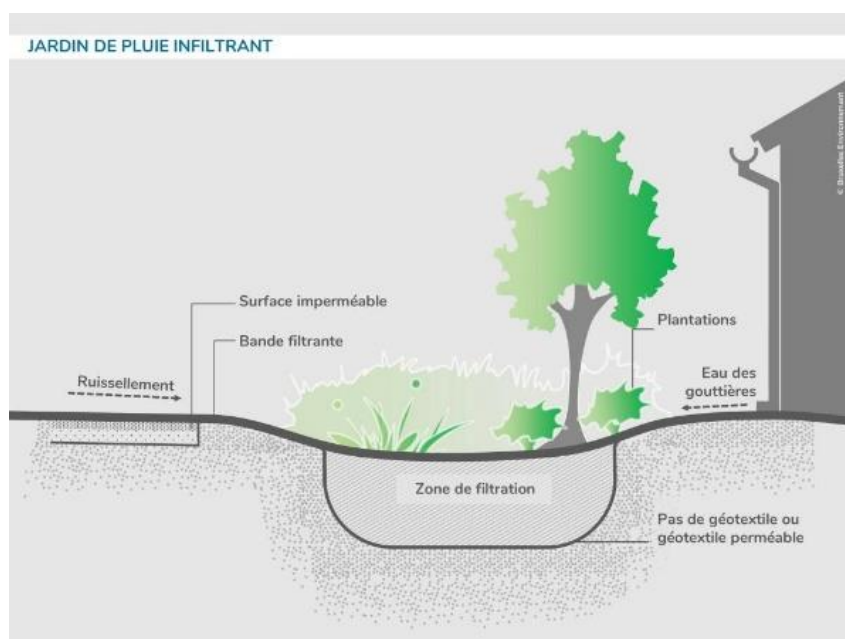


Figure 12 : Coupe jardin de pluie infiltrant (source : Guide Bâtiment Durable Brussels)

⁶ Guide Bâtiment Durable.brussels : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/jardin-de-pluie.html?IDC=10708>

3.1.4 La mare

La mare présente des avantages similaires au jardin de pluie. Elle permet de gérer quantitativement les eaux pluviales mais également de limiter la pollution via les végétaux. La mare constitue également une source d'abreuvement pour les animaux et peut contribuer ainsi à l'accroissement de la biodiversité sur un territoire.

3.1.5 Le bassin sec d'infiltration

Le bassin sec d'infiltration peut être assimilé à une noue « élargie ». Il est de forme plus circulaire et sert moins à l'écoulement qu'au stockage de l'eau pour l'infiltrer dans le sol ou la restituer à l'exutoire à débit régulé. Les rives (ou berges) des bassins secs sont souvent en pente douce mais peuvent être plus raides (mais alors renforcées) et la hauteur d'eau peut être plus importante que celle des noues. Il est temporairement submersible et est souvent aménagé en espace vert⁷.



Figure 13 : Bassin d'infiltration de la salle de sports de Commelle Vernay (source : Roannaise de l'eau)

3.1.6 Le massif infiltrant et le massif stockant

Le massif infiltrant et le massif stockant permettent de récupérer les eaux de pluie avant leur ruissellement. Ils se présentent sous la forme d'une cavité dans le sol remplie d'une structure granulaire à forte porosité : graviers, galets etc. Ils peuvent être recouverts d'un revêtement (pelouse, pavés poreux...) ou non. Le stockage de l'eau s'effectue dans les vides de la structure granulaire. L'eau est ensuite infiltrée dans le sol et/ou restituée à débit régulé vers un exutoire⁸.



Figure 14 : Massif stockant de la place de l'église à Le Coteau (source : Roannaise de l'eau)

⁷ Guide Bâtiment Durable.brussels : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/>

⁸ Gestion durable des eaux pluviales à la parcelle en zone urbanisable – fiche informative outil de gestion des eaux pluviales n°11, Wallonie environnement SPW.

3.2 Analyse des SFN mises en œuvre sur le territoire Roannais

Sur le territoire du syndicat, les solutions fondées sur la nature représentent, sur la période 2006-2021, 39% des chantiers eaux pluviales et 55% de la surface traitée totale, soit 202 000 m². Certaines communes de l'agglomération ont pu mettre en œuvre un nombre plus important de SFN que d'autres communes voisines (Cf. Figure 15) car très souvent, les SFN sont réalisées en même temps que des travaux de type « infrastructures grises ».

Ces dernières consistent à gérer les eaux pluviales de manière traditionnelle, c'est-à-dire à l'aide de tuyaux qui déversent l'eau vers des déversoirs d'orage ou des milieux naturels (en cas de réseaux séparatifs) ou vers une station d'épuration (en cas de réseaux unitaires). Cette gestion traditionnelle conduit à augmenter les volumes de ruissellement, nécessite un surdimensionnement des réseaux, et au transport de l'eau pluviale alors qu'elle pourrait retourner au milieu.

Les SFN destinées à la gestion des eaux pluviales ont pour objectif que l'eau de pluie s'infilte directement dans le sol ou dans des ouvrages dédiés, ceci afin de limiter le ruissellement de l'eau sur la voirie mais également à ne pas saturer les ouvrages d'assainissement ou pluviaux et éviter des inondations. Cette infiltration directe contribue à la protection de la qualité des milieux récepteurs car ces derniers reçoivent moins d'eaux polluées.

La carte suivante présente la répartition des actions SFN sur le territoire de l'agglomération de Roanne et met en évidence un nombre de chantiers plus importants sur les communes les plus peuplées.

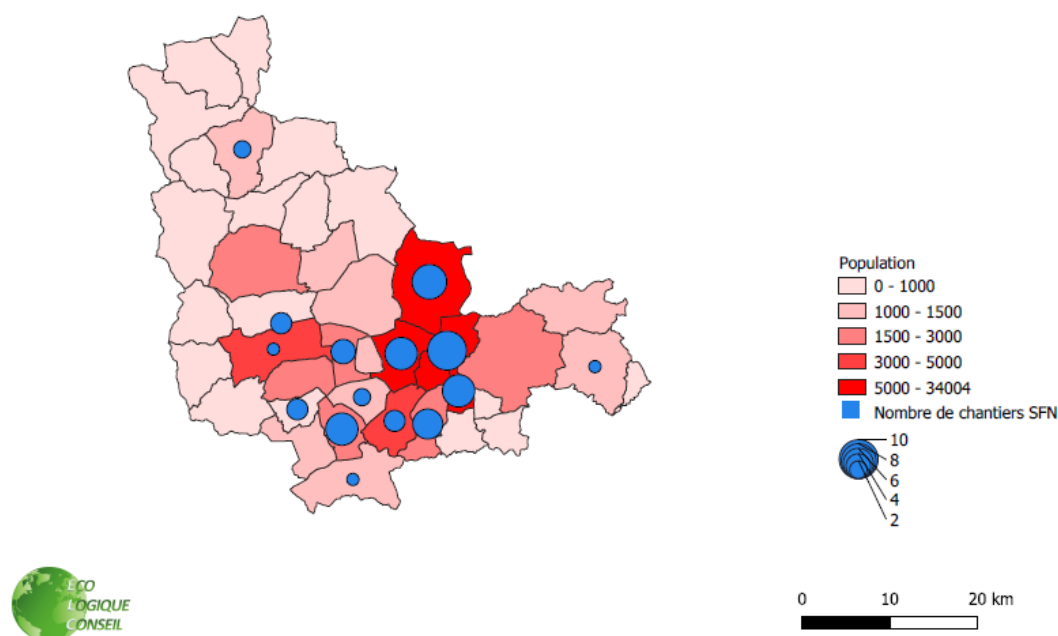


Figure 15 : SFN mises en œuvre depuis 2006

Les communes de Roanne, Mably, Le Coteau, Lentigny et Riorges ont mis en œuvre le plus grand nombre d'actions SFN sur leur territoire. Cependant, si l'on s'intéresse à la surface traitée, il s'avère que les communes de Roanne et de Mably représentent à elles seules, 69% de la surface totale.

Figure 16 : Répartition du nombre d'actions SFN par commune

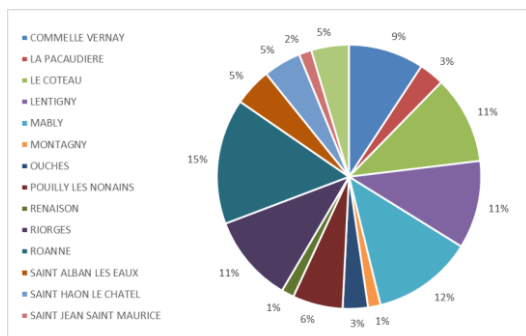
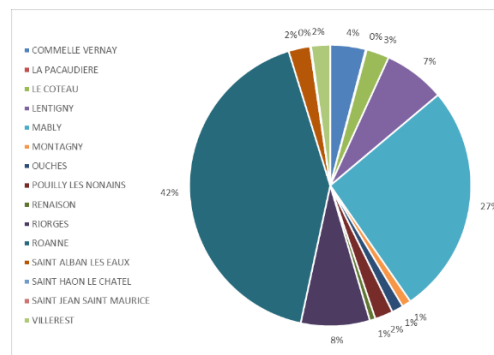


Figure 17 : Répartition de la surface traitée par commune



Les actions mises en œuvre sur l'agglomération de Roanne sont majoritairement des noues, qu'elles soient infiltrantes enherbées (34%), végétalisées (9%), infiltrantes (9%), ou infiltrantes et végétalisées (2%), et des bassins d'infiltration (22%).

4 Les coûts des SFN étudiées

La mise en œuvre des solutions fondées sur la nature pour la gestion des eaux pluviales génère des coûts d'investissement mais également des coûts de fonctionnement.

4.1 Des coûts d'investissement de l'ordre de 4,7 M€

Les coûts d'investissement des SFN mises en œuvre sur l'agglomération de Roanne ne peuvent être connus précisément car ils sont, dans leur très grande majorité, intégrés à des investissements de type « infrastructures grises ». Des fiches détaillées présentant les coûts d'investissement des SFN pour la gestion des eaux pluviales ont été rédigées par différents acteurs tels que l'ADOPTA ou le GRAIE et permettent de proposer une estimation des coûts d'investissement.

4.1.1 Coûts d'investissement moyens retenus

Pour chaque type de SFN mise en œuvre sur l'agglomération de Roanne, une analyse bibliographique a été menée afin d'identifier les coûts moyens d'investissement pouvant être pris en compte pour chiffrer les investissements menés sur la période 2006-2021.

Ces coûts moyens proviennent des fiches techniques de l'ADOPTA ou du GRAIE, et sont présentés selon différents indicateurs : prix au m³, prix au mètre linéaire, forfait...

Les fiches techniques présentant les coûts moyens d'investissement ne sont pas disponibles pour l'ensemble des solutions fondées sur la nature, dédiées à la gestion des eaux pluviales. Ainsi, pour les solutions dont le coût d'investissement n'est pas disponible, il est proposé de retenir le coût de l'action la plus proche au regard des éléments mis en œuvre pour la réalisation de cette action. Le tableau suivant recense les arbitrages réalisés.

Tableau 2 : Coûts moyens d'investissement retenus

Solutions fondées sur la nature	Éléments d'estimation
Bassin d'infiltration	Puits d'infiltration
Jardin de pluie	mare pédagogique
Mare	mare pédagogique
Massif infiltrant	Puits d'infiltration
Massif stockant	Puits d'infiltration
Noue drainante	Noue d'infiltration
Noue infiltrante	Noue d'infiltration
Noue infiltrante enherbée	Noue d'infiltration
Noue infiltrante végétalisée	Noue d'infiltration
Noue infiltrante végétalisée et enherbée	Noue d'infiltration
Toiture végétalisée	Toiture végétalisée

Pour chaque type de SFN, la fourchette proposée dans la fiche est indiquée ainsi que le prix retenu par les bureaux d'études pour l'estimation. Le prix retenu correspond, principalement, à la valeur centrale de la fourchette proposée. Ce prix est ensuite valorisé au mètre carré afin de pouvoir le transposer aux actions mises en œuvre sur l'agglomération de Roanne car ces dernières sont valorisées selon la surface consacrée à l'action. Pour ce faire, des hypothèses de calculs sont proposées pour chaque élément de coût afin d'explicitier la conversion.

Tableau 3 : Coûts moyens d'investissement pour les noues d'infiltration (source : fiche technique n°1 – ADOPTA, traitement ELC)

Noue d'infiltration				
Éléments de coûts	Fourchette	Prix retenu	Prix au m ²	Hypothèse
Mise en place de la noue	10€/m ³	10	10	hypo : tranché de 2 m de largeur et 0,5 m de profondeur
tranchée d'infiltration	60-100€/ml	80	20	hypo : 1 ml de noue = 4 m ²
Engazonnement et plantations	1-10€/ml	5,5	1,4	hypo : 1 ml de noue = 4 m ²
Déplacement d'engin	300-400€	Non retenu	Non retenu	sans objet
Coût / m ² avec tranchée			31,4	
Coût / m ² sans tranchée			11,4	
Coût moyen /m ²			21,4	

Tableau 4 : Coûts moyens d'investissement pour les puits d'infiltration (source : fiche technique n°8 – ADOPTA, traitement ELC)

Puits d'infiltration		
Éléments de coûts	Fourchette	Prix retenu
Fourniture seule	600-900€	750 €
Fourniture et pose	1300-1800€	1 550 €
Coût / puit		1 550 €

Pour les toitures végétalisées, seul le prix des toitures extensives a été retenu car il n'y a pas encore de toitures intensives mise en œuvre sur le territoire Roannais. À noter que l'agence de l'eau préconise ces dernières car elles sont plus efficaces au regard des éléments présentés dans le paragraphe de description des toitures.

Tableau 5 : Coûts moyens d'investissement pour les toitures végétalisées (source : fiche technique n°3 – ADOPTA, traitement ELC)

Toiture végétalisée		
Éléments de coûts	Fourchette	Prix retenu
Fourniture et pose d'un toiture végétalisée extensive	40-70€/m ²	55
Fourniture et pose d'un toiture végétalisée intensive	120€/m ²	Non retenu
Coût / m ²		55

Tableau 6 : Coûts moyens d'investissement pour mares (source : GRAIE - AERMC, traitement ELC)

Mare	
Eléments de coûts	Prix retenu
mare pédagogique 25m ²	3000
Coût /m ²	120

4.1.2 Coûts d'investissement estimés

Sur la base des coûts moyens retenus, les coûts d'investissement ont été calculés pour chaque action SFN mise en œuvre sur l'agglomération de Roanne. Le tableau suivant présente les montants par type d'action. Ainsi, l'investissement global sur la période 2006-2021 est estimé à 4,5 millions d'euros.

Tableau 7 : Coûts d'investissement estimés

Solutions fondées sur la nature	Surface consacrée en m ²	Nombre d'actions	Eléments d'estimation	Prix par m ²	Coût estimé
Bassin d'infiltration	58 404,0	14	Puit d'infiltration	1550	21 700 €
Jardin de pluie	527,0	1	mare pédagogique	120	63 240 €
Mare	241,0	2	mare pédagogique	120	28 920 €
Massif infiltrant	7 624,0	2	Tranchée infiltrante	20	152 480 €
Massif stockant	1 197,0	2	Tranchée infiltrante	20	23 940 €
Noue drainante	5 752,0	3	Noue d'infiltration	31,375	180 469 €
Noue infiltrante	9 796,0	6	Noue d'infiltration	31,375	307 350 €
Noue infiltrante enherbée	73 417,0	22	Noue d'infiltration	31,375	2 303 458 €
Noue infiltrante végétalisée	39 446,0	6	Noue d'infiltration	31,375	1 237 618 €
Noue infiltrante végétalisée et enherbée	2 747,0	1	Noue d'infiltration	31,375	86 187 €
Toiture végétalisée	3 010,0	6	Toiture végétalisée	55	165 550 €
Total	202 161	65		22,61	4 570 912 €

4.2 Des coûts de fonctionnement relativement faibles

Les coûts de fonctionnement des actions mises en œuvre pour la gestion des eaux pluviales sont relativement faibles et concernent essentiellement l'entretien des surfaces végétalisées. Des entretiens réalisés avec des responsables des espaces verts ainsi que les échanges du groupe de travail ont permis de mettre en évidence que les solutions fondées sur la nature ne génèrent pas de surcoût au niveau de l'entretien des espaces verts.

En revanche, ces experts soulignent qu'il est important de bien choisir les espèces végétalisées qui seront plantées. Il ne faut pas choisir des plantes adaptées à l'humidité mais des plantes résistantes à la sécheresse afin de limiter l'arrosage.

Une recherche bibliographique a permis d'identifier un coût d'entretien pour les noues de 3€/ml (source : guide technique sur la gestion intégrée des eaux pluviales – Loire-Forez aggro). Les entretiens avec les responsables des espaces verts soulignent que l'entretien des noues enherbées ne génère ni coût, ni embauche supplémentaire par rapport à un espace vert « classique ».

Pour les toitures végétalisées, l'analyse bibliographique met en évidence un désherbage manuel une fois par an. À noter cependant que la fertilisation des végétaux peut générer un risque de pollution à la sortie des toitures. L'entretien des plantes est également indispensable pour que la toiture végétalisée contribue au stockage des eaux pluviales.

Ces coûts d'entretien peuvent être minorés par la réduction de l'arrosage sur les zones SFN. En effet, les végétaux qui se situent sur des zones SFN équipées d'un système d'infiltration bénéficient d'eau supplémentaire par rapport à des végétaux implantés sur des surfaces plus « classique », type plate-bande. Il n'est donc pas nécessaire de les arroser aussi souvent que les autres, notamment en période de sécheresse. Par ailleurs, certaines noues végétalisées sont construites avec une légère pente vers le milieu afin que l'eau puisse ruisseler au pied des arbres et profiter à ces derniers, ce qui limite l'apport d'eau de la commune.

Le guide technique sur la gestion intégrée des eaux pluviales réalisé par Loire-Forez aggro vient confirmer cette analyse en présentant pour chaque type de solution de gestion intégrée des eaux pluviales l'impact sur l'entretien. Pour les SFN identifiées dans le tableau suivant, l'entretien est considéré comme peu impactant ou moyennement impactant.

Tableau 8 : L'impact de l'entretien des SFN (source : guide technique sur la gestion intégrée des eaux pluviales – Loire-Foréz agglo)

	Emprise foncière	Emprise souterraine	Entretien	Intégration espace de vie	Bio diversité	Coût
Les tranchées drainantes et tranchées d'infiltration						
Les puits d'infiltration						
Les noues						
Les structure réservoirs ou stockantes						
Les revêtement poreux						
SAUL - Structures Alvéolaires Ultra-Légères						
Les jardins de pluie						
Les espaces inondables ou espaces multi-usage						
Les toitures stockantes						
Les toitures végétalisées						
Les bassins de rétention (aérien, sec, eau eau, enterré)						
La réutilisation des eaux pluviales						

- peu impactant
- moyennement impactant
- très impactant

5 Quels sont les impacts de la mise en œuvre des SFN ?

5.1 Les impacts potentiels des SFN

Les solutions fondées sur la nature mises en œuvre pour la gestion des eaux pluviales vont générer différents impacts économiques et environnementaux, en lien direct ou indirect, avec leur objectif initial.

Une analyse bibliographique a permis d'identifier une première liste d'impacts potentiels des SFN sur le territoire Roannais. Cette dernière a été complétée lors d'un groupe de travail, réunissant des ingénieurs des travaux de gestion des eaux pluviales, des responsables des services espaces verts, un bureau d'études spécialisé, et un élu, organisé le 4 juin 2021.

Ces différents éléments sont repris dans le schéma suivant et permettent de visualiser les différents impacts environnementaux liés aux SFN dédiées à la gestion des eaux pluviales.

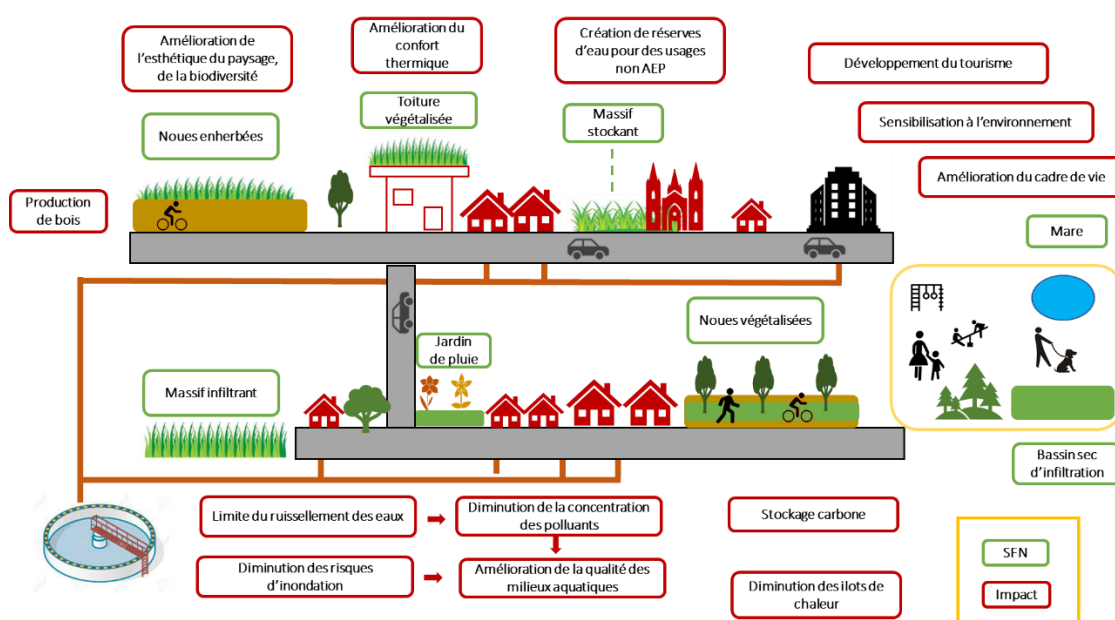


Figure 18 : SFN identifiées et impacts potentiels attendus sur les services écosystémiques

Ces impacts sont à rapprocher de la liste des services écosystémiques présentée précédemment, uniquement pour les 3 catégories concernées par les SFN :

- Les biens produits par les écosystèmes,
- Les services de régulation,
- Les services écosystémiques culturels.

Le tableau suivant présente cette mise en relation.

Tableau 9 : Impacts potentiels des SFN et services écosystémiques associés

Types	Division	Classe	Exemples de biens et services, et d'avantages associés
Biens produits par les écosystèmes	Alimentation	Plantes, algues et animaux sauvages et leurs produits destinés à l'alimentation, l'agriculture ou l'aquaculture	Végétaux issus de la cueillette ou du ramassage (algues champignons, etc.)
			Produits de la pêche (poissons, crustacés, etc.)
			Venaison
		Plantes cultivées, animaux d'élevage et leurs produits destinés à l'alimentation	Fourrages
			Biens agricoles
			Produits issus de l'aquaculture
	Eau potable ou destinée aux usages agricoles	Eau de surface	
		Eau souterraine	
	Matériaux	Matériaux biosourcés	Bois d'œuvre et bois d'industrie,
			Liège, fibres végétales (lin, chanvre, etc.)
		Eau destinée aux usages industriels	Eau de surface
	Eau souterraine		
Énergie	Biomasse végétale	Bois-énergie	
Autres biens	Molécules et substances naturelles	Enzymes, huiles, substances médicinales	
		Autres biens	Peaux, objets décoratifs
Services de régulation	Régulation des flux	Régulation de l'érosion	Régulation de l'érosion du trait de côte
			Prévention de l'érosion éolienne et hydrique des sols
		Protection contre les risques naturels	Protection contre les risques en montagne
			Régulation des débits de crue
			Protection contre les submersions marines
			Réduction des dommages de tempêtes
	Régulation du cycle de l'eau	Régulation des débits d'étiage	
	Régulation de l'environnement physico-chimique	Régulation du climat mondial	Séquestration du carbone
		Régulation du climat local	Atténuation d'îlot de chaleur urbain
		Régulation de la qualité de l'air	Régulation des concentrations en particules
		Régulation de la qualité de l'eau	Réduction des coûts de traitement de l'eau
		Qualité du sol et fertilité	Fourniture en azote assimilable par les plantes cultivées
	Régulation de l'environnement biotique	Régulation des conditions de culture et d'élevage	Régulation des graines d'adventices
			Régulation des insectes ravageurs des cultures
			Régulation des maladies animales
		Régulation des risques de santé	Pollinisation des cultures
	Régulation des maladies infectieuses		
	Régulation des nuisances associées aux activités humaines	Régulation des déchets et des sources de pollution	Régulation des espèces dangereuses
			Décomposition des déchets
		Réduction des nuisances olfactives, sonores et visuelles	Épuration des eaux usées
			Réduction des niveaux de bruits
Services écosystémiques culturels	Interactions physiques et intellectuelles avec les écosystèmes et les paysages	Récréation sans prélèvement	Activités récréatives et de loisirs
			Sports de nature
			Tourisme vert et écotourisme
	Récréation avec prélèvement	Éducation et connaissance	Chasse
			Pêche de loisir
	Aménités paysagères		Expérimentation, science
			Éducation
			Attractivité touristique
		Attractivité territoriale	
		Qualité du cadre de vie	

Ces impacts sont différents selon le type de SFN étudiée et sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Liste des impacts potentiels selon le type de SFN mise en œuvre

Actions SFN mises en œuvre	Jardin de pluie	Noue végétalisée	Noue enherbée	Bassin sec	Massif infiltrant	Massif stockant	Mare	Toiture végétalisée
Diminution des volumes rejetés dans le réseau car déconnexion du réseau unitaire								
Diminution des volumes rejetés dans le réseau pluvial et dans le réseau des eaux usées								
Amélioration de la qualité des milieux aquatiques								
Diminution des îlots de chaleur								
Amélioration du confort thermique et phonique								
Création de réserves d'eaux de pluie								
Production de bois								
Développement du tourisme: labellisation des villes et villages fleuris								
Régulation des inondations : moins de flux en aval car gestion à la source								
Amélioration du cadre de vie								
Sensibilisation à l'environnement (panneaux en forme de nuages...)								
Stockage de carbone								
Coûts d'investissement et de fonctionnement moins élevés que pour les infrastructures grises								
Moindre coût du renouvellement des réseaux car dimensionnement plus petit si pas d'eaux pluviales à prendre en compte								

Les paragraphes suivants vont permettre d'identifier, si les impacts potentiels proposés existent réellement sur le territoire Roannais et s'ils peuvent être quantifiés.

Pour identifier ces impacts, la méthodologie suivante a été menée :

- Une analyse bibliographique des différents documents sur les solutions fondées sur la nature et la gestion des eaux pluviales (Cf Références) ;
- Des entretiens avec des experts ;
- Une enquête auprès des habitants de l'agglomération de Roanne qui a permis de récolter l'avis de 70 personnes. Certaines réponses ne sont pas exploitables car non significatives d'un point de vue statistique. Cependant il semblerait que les SFN contribuent à l'amélioration de leur cadre de vie au quotidien. Les résultats de cette enquête sont présentés avec le questionnaire en annexe 2.

5.2 Impacts sur les biens produits par les écosystèmes

5.2.1 Diminution de la concentration des polluants

En arrivant au sol, l'eau de pluie va d'une part lessiver les surfaces sur lesquelles elle s'écoule et d'autre part éroder les matériaux de surface. Les contaminants présents, peuvent soit être dissous, soit être fixés sur les particules entraînées par l'eau. L'augmentation de la concentration en polluants dépend de facteurs multiples : intensité de la pluie, importance des ruissellements, nature du matériau de surface, nature des activités sur ou à proximité de la surface, etc...

Plus l'eau ruisselle sur une longue distance et plus l'eau se chargera en polluant et contaminera le milieu récepteur dans lequel elle aboutira. Les solutions fondées sur la nature vont permettre de limiter ce ruissellement. En effet, une partie de l'eau de pluie va directement s'infiltrer dans le sol, réduisant ainsi les quantités ruisselant sur la route.

Une étude du GRAIE sur le devenir des micropolluants au sein des ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source ou centralisés⁹, basée sur quatre systèmes (noue, tranchée infiltrante, chaussée à structure réservoir et bassin de rétention/décantation), montre que « les abattements en masse (volume x concentration) sont bien meilleurs sur la noue (qui abat les volumes) que sur le bassin de retenue/décantation qui n'en abat pas. La noue est la plus efficace quels que soient les micropolluants, vient ensuite la tranchée, puis la chaussée à structure réservoir et enfin le bassin de retenue.

Dans le cadre de cette étude, il n'a pas été possible de disposer des surcoûts de traitement mis en œuvre pour l'approvisionnement en eau potable de l'agglomération mais il est certain que les SFN contribuent à la réduction de ce surcoût.

5.2.2 Création de réserves d'eau pour des usages non AEP

Certaines SFN permettent de stocker l'eau afin d'être réutilisée pour des usages non destinés à l'alimentation humaine comme par exemple le nettoyage des voiries ou l'arrosage des espaces verts.

Des entretiens menés avec des responsables d'espaces verts des communes du territoire Roannais ont permis de définir qu'actuellement l'eau stockée n'était pas réutilisée. En effet, pour pouvoir profiter de cette possibilité, des pompes doivent être installées et les ouvrages stockant doivent être à proximité des lieux où l'eau sera réutilisée.

5.2.3 La production de bois

La taille annuelle des végétaux plantés pour la mise en œuvre de SFN peut être valorisée et vendue pour certains usages tels que du bois de chauffage (bûche ou granulés). Le bois coupé peut également être broyé et servir de paillage pour les parterres, ce qui permet de limiter l'arrosage en période de sécheresse.

Sur le territoire roannais, les végétaux plantés sont plus souvent des arbustes et des massifs fleuris qui ne correspondent pas à ce type d'usage. Les bénéfices liés à la vente de bois sont donc jugés non significatifs sur le territoire de l'étude.

⁹ Devenir des micropolluants au sein des ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source ou centralisés – synthèse du projet de recherche MiroMégas- Graie - 2020

L'impact des SFN sur les biens produits par les écosystèmes a pu être chiffré pour l'amélioration de la qualité de l'eau à la fois pour les coûts évités pour une contamination bactériologique à la suite de déversements des réseaux et/ou des ouvrages d'eaux usées (132 € par malade) mais également via les services rendus par les SFN pour la protection de la qualité de l'eau, soit **11 K€** sur la période 2006-2021.

Les impacts relatifs à la création des réserves d'eau potable pour des usages non alimentaires n'ont pu être chiffrés car cette solution n'est pas encore mise en œuvre sur le territoire.

La production de bois n'a pu être estimée dans les délais impartis de l'étude mais il est indéniable que la possibilité pour les collectivités de réutiliser le bois provenant de l'entretien des SFN est un service à part entière.

5.3 Impacts sur les services de régulation

5.3.1 Amélioration de la qualité des milieux aquatiques

La gestion des eaux pluviales par des SFN va permettre de réduire le déversement d'eaux de pluie vers les ouvrages de traitement et limiter ainsi les risques de déversement d'eaux usées sans traitement. En cas de fortes pluies, l'agglomération de Roanne peut subir :

- Des déversements des déversoirs d'orage
- Des déversements en tête de la station d'épuration de Roanne qui est située sur un territoire à risques importants d'inondation (TRI)

Les déversements des déversoirs d'orage :

Le schéma ci-dessous explique le fonctionnement d'un déversoir d'orage et met en évidence le débit déversé qui se retrouve dans le milieu naturel en cas de trop forte pluie.

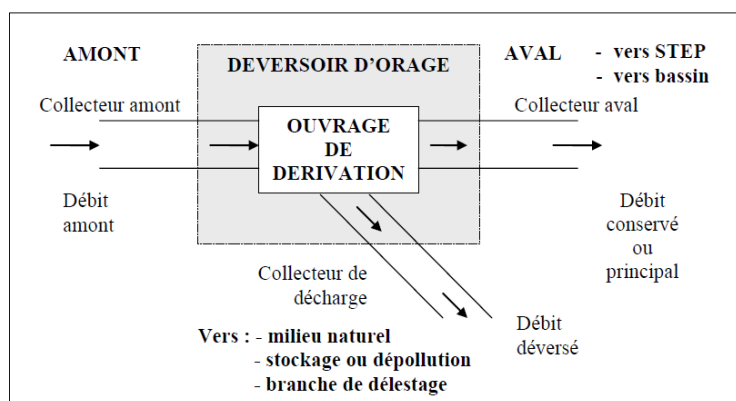


Figure 19 : Schéma de principe du déversoir d'orage (source : guide technique Engess)

Ce débit déversé est calculé sur la base du débit de référence qui précise le débit à partir duquel l'ouvrage commence à déverser. La figure suivante présente la possibilité d'augmentation de ce débit de référence.

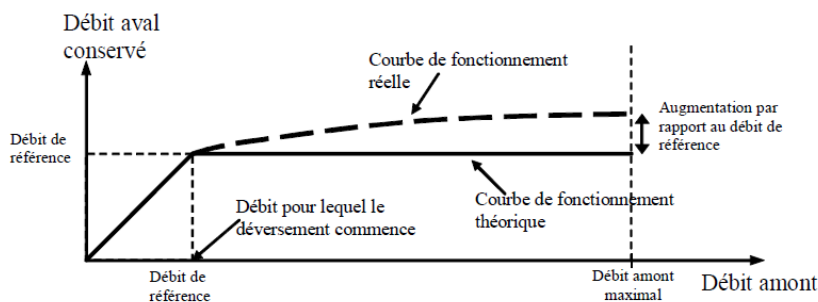


Figure 20 : Principe de fonctionnement hydraulique du déversoir d'orage (source : guide technique Engess)

Les déversements à la station d'épuration principale de Roanne :

Le traitement des eaux usées de l'agglomération Roannaise se fait principalement à la station d'épuration située à Roanne (142 000 équivalents habitant), mais il existe au total près de 40 ouvrages sur le territoire d'intervention de Roannaise de l'Eau, dont 14 lagunes et 11 filtres plantés de roseaux.

En cas de fortes pluies, les réseaux d'eaux usées peuvent se retrouver surchargés et générer un risque de déversement.

L'impact qualitatif des déversements sur la qualité de l'eau :

Le déversement des déversoirs d'orage et/ou de la station d'épuration peut générer une pollution bactériologique et des risques de contamination pour la population. Ces risques sont minimes sur le territoire Roannais pour les raisons suivantes :

- Pour observer une contamination de l'eau potable, il faudrait que les stations de traitement en aval ne soient pas équipées de désinfection, ce qui est peu probable,
- Pour la contamination des eaux de baignade, il faudrait que la pollution atteigne les lieux de baignade. Le lieu de baignade principal du territoire Roannais est le lac de Villerest et tous les déversements de la station d'épuration de Roanne se font dans le fleuve Loire, ce qui exclut la possibilité d'une contamination du lac de Villerest.

L'impact économique des SFN sur l'amélioration de la qualité de l'eau :

Une contamination bactériologique peut provenir de deux sources différentes :

- De bactéries telles que l'E.Coli, qui se transmet à l'homme principalement par des aliments contaminés comme de la viande hachée crue ou mal cuite ou du lait cru.
- De virus tels que le norovirus. La transmission de ce type de virus est oro-fécale et les virus sont éliminés dans les selles.

Les symptômes de l'E.Coli et du norovirus correspondent à des symptômes gastro-intestinaux et sont relativement proches : diarrhées, vomissements, nausées, fièvre, maux de tête. Selon la gravité des symptômes et la fragilité des personnes contaminées (enfants, personnes âgées), les frais médicaux seront différents.

Ces frais peuvent se décomposer en trois catégories principales :

- Une visite chez le médecin traitant
- Les frais d'hospitalisation en cas de symptômes graves
- L'achat de médicaments
- Des arrêts de travail entraînant des pertes de productivité pour les entreprises

Une étude menée au niveau mondial sur les coûts de la gastro entérite générée par le norovirus par le New York City Department of Health and Mental Hygiene¹⁰ a permis d'identifier les coûts des visites des patients chez le médecin, les coûts d'hospitalisation et la perte de productivité. La perte de productivité est estimée pour 4 tranches d'âge : 0-4 ans, 5-14 ans, 15-54 ans et plus de 55 ans. Elle tient compte de la productivité perdue suite à l'absentéisme au travail ou à l'école et à la mortalité. Les coûts proposés pour l'Europe s'élèvent à 157,70 \$ par malade, soit environ 132€¹¹.

L'impact des actions SFN sur la réduction d'une contamination bactériologique n'a pu être prouvé dans le cadre de cette étude car aucun dépassement des normes sanitaires n'a été observé suite à des débordements de déversoirs d'orage ou de stations d'épuration. Il est cependant, tout à fait raisonnable, d'estimer qu'en cas d'épisode pluvieux intenses, les SFN permettront de réduire une partie des débordements et contribueront à une moindre contamination de la qualité des eaux :

- En cas de gastro-entérite, les SFN participent à une moindre contamination, permettant d'éviter des coûts de l'ordre de **132€ par malade**.
- A ces coûts peuvent s'ajouter des moindres coûts de traitement de potabilisation de l'eau. Pour chiffrer ces bénéfices, les travaux du Le Centre d'analyse stratégique (Chevassus-au-Louis B. et alt. (2009) Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes - Contribution à la décision publique) peuvent être utilisés. Dans cette étude, le service rendu au titre de la protection de la qualité de l'eau est estimé à 90 €/ha/an, pour les prairies comme pour les forêts. On peut donc considérer que cette valeur pour l'estimation du service rendu par les SFN enherbées ou végétalisées. L'ensemble des surfaces des SFN retenues, hormis les noues drainantes, peut être appliqué à ce bénéfice. Le tableau suivant présente les montants annuels sur le territoire Roannais. Ainsi, sur la période 2006-2021, les services rendus par les SFN au titre de la protection de la qualité de l'eau représentent **11 551 €**.

Tableau 11 : Estimation des services rendus par les SFN sur la protection de la qualité de l'eau

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021	Total
Nombre d'hectares	0,24	0,11	0,31	0,07	0,00	1,16	3,28	2,13	0,86	1,65	8,30	0,27	0,09	0,00	1,15	19,64
Nombre d'hectares cumulés	0,24	0,36	0,67	0,75	0,75	1,91	5,19	7,32	8,18	9,83	18,13	18,40	18,49	18,49	19,64	
Service rendu par les SFN	22 €	32 €	60 €	67 €	67 €	172 €	467 €	659 €	736 €	885 €	1 632 €	1 656 €	1 664 €	1 664 €	1 768 €	11 551 €

¹⁰ Bartsch SM, Lopman BA, Ozawa S, Hall AJ, Lee BY (2016) Global Economic Burden of Norovirus Gastroenteritis. PLOS ONE 11(4): e0151219. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151219>

¹¹ Taux de change mars 2021 (Source : <https://www.banque-france.fr/statistiques/taux-de-change-parites-moyenne-mensuelle>)

5.3.2 Régulation des inondations ponctuelles en milieu urbain

« La gestion intégrée des eaux pluviales doit permettre d’adapter les objectifs de gestion de la pluie (période de retour décennale, centennale...) à la vulnérabilité du territoire et de passer d’une logique de « stockage/évacuation » à une véritable logique de « gestion in situ ». En d’autres termes, mieux vaut une inondation maîtrisée du territoire aménagé plutôt qu’une augmentation incontrôlée des risques à l’aval ¹² ».

La gestion des eaux pluviales par des solutions fondées sur la nature peut contribuer à la réduction des inondations. En effet, l’eau qui s’infiltré naturellement ne transite plus sur la voirie, dans les réseaux et le risque de débordement des déversoirs d’orage et des stations d’épuration est réduit.

Sur la période étudiée pour les communes de l’agglomération de Roanne ayant mis en œuvre des SFN (2006-2021), il y a eu 4 procédures administratives liées à un arrêté de catastrophe naturelle. Elles ont toutes eu lieu en 2008, et sont relatives aux inondations et coulées de boue et/ou inondations, coulées de boue et glissements de terrain.

Tableau 12 : Nombre de procédures administratives relatives aux risques inondations depuis 1983 (source : base de données Gaspar – www.georisques.gouv.fr)

Communes	1983	1988	1990	1993	2000	2003	2008	Total
Commelle-Vernay	1	2			1	1	1	6
La Pacaudière	1							1
Le Coteau	1	2		1	1	1	1	7
Lentigny	1							1
Mably	1			1	1	1	1	5
Montagny	1			1				2
Ouches	1							1
Pouilly-les-Nonains	1			1				2
Renaison	1		1	1				3
Riorges	1	2		1	1			5
Roanne	1	2		1	1		1	6
Saint-Alban-les-Eaux	1		1					2
Saint-Haon-le-Châtel	1							1
Saint-Jean-Saint-Maurice-sur-Loire	1							1
Villerest	1	1		1	1	1		5
Total	15	9	2	8	6	4	4	48

La mise en œuvre de SFN sur ces communes ayant démarré en 2006, il n’est pas possible de faire un lien entre la diminution des arrêtés de catastrophe naturelle et les chantiers implantés. Cependant, il est envisageable de penser que les actions mises en œuvre depuis 2006 vont avoir un impact les prochaines années au regard des épisodes pluvieux intenses qui surviennent de plus en plus souvent suite au changement climatique. Les inondations précédentes, survenues sur la période 1983-2008, ont généré des sinistres qui ont été indemnisés par les assureurs au titre du régime des catastrophes naturelles pour le péril inondation au sens large. Le coût moyen d’une inondation sur les communes ayant mis en œuvre des SFN peut s’élever jusqu’à 20 000 €. Il s’agit des indemnités versées par les assureurs, nettes de toute franchise, uniquement pour les biens assurés. Le coût réel d’une inondation est donc nettement supérieur.

¹² Gestion intégrée des eaux pluviales, Pourquoi ? Comment ? Retour d’expériences de collectivités de Loire-Bretagne, mai 2016

Tableau 13 : Coût moyen des sinistres inondation de 1995 à 2018 (source : www.georisques.gouv.fr)

Code INSEE	Commune	Coût moyen des sinistres inondation (tous types) (Somme : coulée de boue, remontée de nappe, submersion marine) 1995-2018
42069	Commelle-Vernay	Entre 2,5 et 5 k€
42071	Le Coteau	Entre 10 et 20k€
42120	Lentigny	Pas de sinistre répertorié à CCR
42127	Mably	Entre 0 et 2,5 k€
42145	Montagny	Pas de sinistre répertorié à CCR
42162	Ouches	Pas de sinistre répertorié à CCR
42163	La Pacaudière	Pas de sinistre répertorié à CCR
42176	Pouilly-les-Nonains	Pas de sinistre répertorié à CCR
42182	Renaison	Pas de sinistre répertorié à CCR
42184	Riorges	Entre 2,5 et 5 k€
42187	Roanne	Entre 5 et 10 k€
42198	Saint-Alban-les-Eaux	Pas de sinistre répertorié à CCR
42232	Saint-Haon-le-Châtel	Pas de sinistre répertorié à CCR
42239	Saint-Jean-Saint-Maurice-sur-Loire	Pas de sinistre répertorié à CCR
42332	Villerest	Entre 0 et 2,5 k€

Si l'on considère qu'un phénomène de pluie intense générant des cumuls de précipitations de plus de 100 mm selon les communes, du type des 5 et 6 juillet 1993, se reproduise, il est probable que les dégâts matériels sur l'ensemble des communes ayant mis en œuvre des SFN, soient moins importants du fait de l'amélioration de l'infiltration des eaux de pluie dans le milieu naturel.

D'après l'historique de Météo France, des pluies de l'ordre de 80 à 100 mm par jour se produisent au moins une fois tous les ans ou tous les deux ans sur le département de la Loire. Les pluies très intenses de l'ordre de 150 mm par jour sont observées une fois tous les 10 à 25 ans et les pluies diluviennes, supérieures à 200 mm, n'ont pour l'instant pas été observées sur le département. Cependant des pluies importantes, de l'ordre de 100 à 150 mm en 1 jour, restent possibles sur le département. L'action des SFN mises en place, permettrait l'infiltration à la parcelle d'une partie de ces pluies et pourrait contribuer à réduire l'impact de ces inondations et donc d'éviter les versements pour dommages versés par les assurances.

Tableau 14 : Fréquence observée de la pluviométrie sur le département de la Loire (source : Météo France)

Pluviométrie	Fréquence observée
80 mm en 1 jour	1 à 2 fois chaque année
100 mm en 1 jour	au moins 1 fois tous les 1 à 2 ans
150 mm en 1 jour	au moins 1 fois tous les 10 à 25 ans
200 mm en 1 jour	aucune occurrence observée

5.3.3 Stockage du carbone

La création d'espaces naturels contribue à la séquestration du carbone. Ainsi, certaines solutions fondées sur la nature mises en œuvre sur l'agglomération de Roanne vont participer au stockage de carbone. Le tableau suivant présente les SFN retenues pour le stockage du carbone.

Tableau 15 : Identification des SFN pouvant stocker du carbone

Type de SFN	Stockage carbone ?
Bassin d'infiltration	Non
Jardin de pluie	Oui
Mare	Oui
Massif infiltrant	Non
Massif stockant	Non
Noue drainante	Non
Noue infiltrante	Non
Noue infiltrante enherbée	Oui
Noue infiltrante non végétalisée	Non
Noue infiltrante végétalisée	Oui
Noue infiltrante végétalisée et enherbée	Oui
Toiture végétalisée	Oui

Pour chaque SFN retenue comme pouvant stocker du carbone, une recherche bibliographique a été menée afin d'identifier d'une part les paramètres pouvant être retenus pour estimer le carbone stocké puis la valeur qui pouvait être associée à ce paramètre. Le tableau suivant met en évidence ces différents éléments.

Tableau 16 : Valeur retenue pour le stockage du carbone

Type de SFN	Paramètre retenu	Valeur retenue	Source
Jardin de pluie	Carbone stocké par les pelouses	Flux de stock annuel : 0,021 tC/ha/an sur la base d'un stockage compris entre 0,9 et 1,0 tC/ha/an	Assessing Soil Carbon Sequestration in Turfgrass Systems Using Long Term Soil Testing Data, R.F. Follett - Co-Investigator: Y. L. Qian, Agricultural Research Service
Mare			
Noue infiltrante enherbée			
Noue infiltrante végétalisée	Carbone stocké par la biomasse aérienne des haies, la biomasse racinaire et le sol des haies	Flux de stock annuel pour les haies de moins de 15 ans : 0,00083 t/ml ; Flux de stock annuel pour les haies de plus de 15 ans : 0,0010 t/ml	Carbocage : vers la neutralité carbone des territoires - avril 2020
Noue infiltrante végétalisée et enherbée			
Toiture végétalisée	Carbone stocké par les toitures végétalisées	0,375 kgC/m ² /an	La séquestration naturelle de carbone en milieu urbain : un outil de lutte contre les changements climatiques à promouvoir - Mochel Vararoath Meas - octobre 2016

Le stockage de carbone a été calculé à horizon 2050 car ce processus est long et il convient de se baser sur de longues périodes pour en estimer les effets.

Sur la base des flux de stock annuel calculé chaque année de 2006 à 2050, le tonnage de CO² stocké a pu être estimé à 80 tonnes à horizon 2050. Les valeurs stockées évoluent faiblement à partir de 2027 car au-delà d'un certain nombre d'années, les flux additionnels annuels sont peu élevés. Le graphique ci-dessous présente le tonnage de CO² résultant de la mise en œuvre des SFN sur l'agglomération de Roanne.

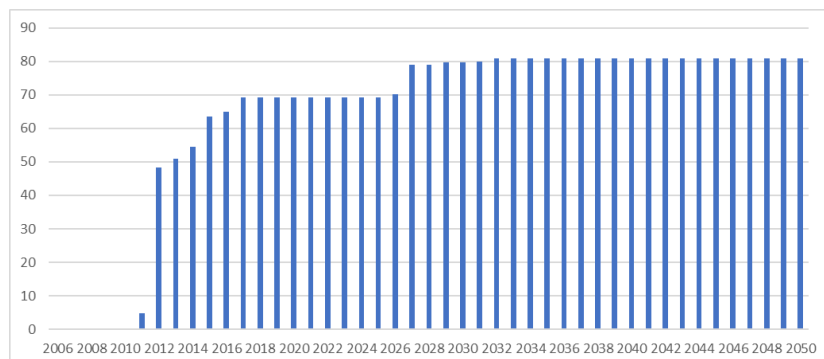


Figure 21 : Tonnage de CO² stocké

Ainsi, les SFN du territoire Roannais auront stocké d'ici 2050, plus de 80 tonnes de CO². Cela correspond par exemple à la production de carbone générée par la consommation de 156 863 repas végétarien ou 11 019 repas avec du bœuf ou 606 060 mètres cubes d'eau du robinet¹³.

L'estimation des bénéfices environnementaux associés à la valeur de la tonne de CO² stockée peut être faite au regard de deux données :

- Le prix du marché actuel et ses perspectives d'évolution au regard des dernières cotations et d'une projection linéaire de 2018 à 2050 à partir des données anticipées de 2021 à 2027.
- La valeur proposée de 2020 à 2050 par France Stratégie qui reflète la compensation souhaitée d'un point de vue politique pour réduire l'impact du changement climatique.

Le tableau suivant présente pour chaque année le flux de CO² stocké par les SFN et leur valeur selon les deux données de valorisation. Ainsi, la valeur du CO² stocké est comprise entre 177K€ et 965 K€ sur la période de mise en œuvre des SFN, soit une moyenne annuelle comprise entre 4 400 € et 31 100€.

¹³ <https://monconvertisseurco2.fr/?co2=80000>

Tableau 17 : Valeur des tonnes de CO² stockées par les SFN

Année	Tonne CO ²	Prix du marché de la tonne de CO ² selon cours du marché	Prix du marché de la tonne de CO ² (source : France Stratégie)	Valeur selon prix du marché	Valeur selon France Stratégie
2011	4,82	7,03 €		34 €	
2012	48,24	6,48 €		313 €	
2013	50,97	4,86 €		248 €	
2014	54,46	7,27 €		396 €	
2015	63,43	8,25 €		523 €	
2016	65,03	6,55 €		426 €	
2017	69,23	8,15 €		564 €	
2018	69,23	24,73 €		1 712 €	
2019	69,23	24,52 €		1 698 €	
2020	69,23	32,59 €	56 €	2 256 €	3 877 €
2021	69,28	62,36 €	75 €	4 320 €	5 224 €
2022	69,28	62,71 €	95 €	4 344 €	6 568 €
2023	69,28	63,27 €	114 €	4 383 €	7 912 €
2024	69,28	64,05 €	134 €	4 437 €	9 256 €
2025	69,28	64,95 €	153 €	4 500 €	10 600 €
2026	70,18	65,41 €	172 €	4 591 €	12 099 €
2027	79,01	66,53 €	192 €	5 257 €	15 154 €
2028	79,01	66,74 €	211 €	5 273 €	16 687 €
2029	79,72	67,41 €	231 €	5 373 €	18 383 €
2030	79,72	68,07 €	250 €	5 427 €	19 930 €
2031	79,94	68,74 €	275 €	5 495 €	21 984 €
2032	80,81	69,41 €	300 €	5 609 €	24 242 €
2033	80,81	70,08 €	325 €	5 663 €	26 263 €
2034	80,81	70,75 €	350 €	5 717 €	28 283 €
2035	80,81	71,42 €	375 €	5 771 €	30 303 €
2036	80,81	72,09 €	400 €	5 825 €	32 323 €
2037	80,81	72,76 €	425 €	5 879 €	34 343 €
2038	80,81	73,43 €	450 €	5 933 €	36 364 €
2039	80,81	74,10 €	475 €	5 987 €	38 384 €
2040	80,81	74,76 €	500 €	6 042 €	40 404 €
2041	80,81	75,43 €	528 €	6 096 €	42 626 €
2042	80,81	76,10 €	555 €	6 150 €	44 848 €
2043	80,81	76,77 €	583 €	6 204 €	47 071 €
2044	80,81	77,44 €	610 €	6 258 €	49 293 €
2045	80,81	78,11 €	638 €	6 312 €	51 515 €
2046	80,81	78,78 €	665 €	6 366 €	53 737 €
2047	80,81	79,45 €	693 €	6 420 €	55 959 €
2048	80,81	80,12 €	720 €	6 474 €	58 182 €
2049	80,81	80,79 €	748 €	6 528 €	60 404 €
2050	80,81	81,45 €	775 €	6 582 €	62 626 €
Valeur totale sur la période				177 386 €	964 842 €
Valeur annuelle moyenne sur la période				4 435 €	31 124 €

L'actualisation des valeurs de 2021 à 2050 selon le taux d'actualisation proposé par France Stratégie¹⁴ aboutit à une compensation comprise entre 112 K€ et 526 K€.

Tableau 18 : Valeurs actualisées des tonnes de CO² stockées par les SFN

Valeur considérée	Valeur sur la période 2011-2050	Valeur sur la période 2011-2050 avec actualisation à partir de 2021
Prix du marché	177 386 €	112 347 €
Valeurs de France Stratégie	964 842 €	526 690 €

¹⁴ France Stratégie - Guide de l'évaluation socioéconomique des investissements publics – révision du taux d'actualisation du 23 novembre 2021

5.3.4 Diminution des îlots de chaleur et amélioration du confort thermique

Le développement de la nature en ville contribue à la diminution des îlots de chaleur. En effet, les végétaux apportent des zones d'ombre et leur évapotranspiration permet de réduire la température extérieure.

Les toitures végétalisées contribuent à l'isolation des toits et favorisent ainsi une diminution de la facture énergétique des habitations concernées. Un entretien avec Le Prieuré¹⁵, entreprise spécialisée dans les toitures et façades végétalisées, a permis de déterminer les éléments suivants pour l'isolation thermique :

- La végétation réduit, dans les logements ou bureaux concernés, la température ambiante intérieure de 2 à 5°C environ.
- Les charges de climatisation sont réduites de 2 % environ par rapport à une toiture classique en cas d'une bonne isolation thermique (5 % en cas d'une isolation normale).

L'étude menée n'a pas permis de déterminer l'impact de cette isolation thermique sur les bâtiments concernés par la mise en place de toiture végétalisée mais une étude plus approfondie permettrait d'estimer le gain énergétique de ces solutions fondées sur la nature.

L'impact des SFN sur les services de régulation est important, particulièrement sur le stockage du carbone et sur la régulation des inondations ponctuelle en milieu urbain.

On ne dispose pas d'observations sur le site permettant de caractériser la diminution des îlots de chaleur mais l'analyse bibliographique met en évidence un impact indéniable.

Des évaluations ont été faites à partir de valeurs issues de la littérature, et permettent de chiffrer des **bénéfices totaux actualisés sur la période 2010-2050. Les plus importants résultent du stockage du carbone (entre 112 K€ et 526 K€).**

Les coûts évités liés à la régulation des inondations affichent un gain de **20 K€** par arrêté de catastrophe naturelle.

¹⁵ Entretien réalisé avec Caroline Chique, Responsable technique Toitures et Façades Végétalisées, Le Prieuré

5.4 Impacts sur les services culturels

5.4.1 Amélioration du cadre de vie

La mise en œuvre des SFN en milieu urbain peut contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des habitants. Cette qualité de vie peut s'apprécier au travers de différents indicateurs tels que :

- La création de lieux de rencontre : certaines SFN sont propices aux promenades et aux loisirs et peuvent devenir des lieux de vie d'un quartier,
- L'amélioration du cadre de vie via le paysage : les SFN apportent de la nature en ville et embellissent les quartiers. Par exemple, la ville de Nantes a obtenu le label de « capitale verte européenne »¹⁶ notamment en raison de son action en faveur d'espaces verts multifonctionnels permettant également la gestion des eaux pluviales,
- Les solutions fondées sur la nature permettent de réintroduire la nature en ville. De ce fait, elles sont susceptibles de contribuer au développement de la biodiversité dans les espaces végétalisés auxquels elles sont associées et participent à la connexion des trames vertes et bleues. Les SFN peuvent ainsi contribuer au développement d'espèces endémiques et à l'arrivée en ville de nouvelles espèces. Les espaces boisés favoriseront l'accueil des oiseaux, des écureuils. Les mares et les jardins de pluie assureront un point d'eau pour les animaux et les amphibiens. Les espaces enherbés et fleuris contribueront au développement des insectes.
- La reconnexion avec la nature : la gestion intégrée de l'eau de pluie et des eaux pluviales, en valorisant le végétal et le rapport à l'eau, peut être associée à une forme de reconnexion avec la nature, également reconnue pour les bénéfices qu'elle procure en termes de bien-être et de qualité de vie (Cleary et al., 2017)¹⁷,
- Le développement de la végétation en ville contribue à la réduction des îlots de chaleur (Cf paragraphe sur les îlots de chaleur).

L'enquête menée auprès des habitants (Cf. Annexe 2) n'a pas permis de démontrer concrètement cet impact du fait du manque de représentativité des réponses. Ce résultat s'explique certainement par deux raisons :

- Les SFN ne sont pas toujours visibles et de nombreux répondants aux questionnaires n'ont pas connaissance de leur existence : cela prouve cependant que les SFN sont bien intégrées dans leur territoire et que les habitants ne soupçonnent pas leur existence.
- La surface consacrée aux SFN, bien qu'en progression constante, reste modeste sur le territoire roannais et ne permet pas, encore, de mettre en évidence un réel impact sur le cadre de vie.

Cependant, l'analyse des réponses au questionnaire, permet de démontrer que même si pour l'instant l'impact n'est pas encore visible, les SFN semblent contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des habitants.

¹⁶ Gestion intégrée des eaux pluviales, Pourquoi ? Comment ? Retour d'expériences de collectivités de Loire-Bretagne, mai 2016,

¹⁷ ISadOra – gestion des eaux pluviales, clef 15

5.4.2 Sensibilisation à l'environnement

Après de chaque dispositif SFN mis en œuvre, Roannaise de l'eau a pour objectif de poser des panneaux d'information afin de sensibiliser le public à l'environnement. Ces panneaux permettent aux usagers d'identifier l'ouvrage et de comprendre sa fonction vis-à-vis de la gestion de l'eau.



Figure 22 : Panneaux d'information mis en œuvre par Roannaise de l'eau

L'enquête menée auprès des habitants de l'agglomération de Roanne a mis en évidence que 24% des répondants ont identifié des panneaux de sensibilisation à l'environnement et 88% ont compris leur message.

L'analyse de cette question montre que l'information proposée sur les panneaux est claire mais que les panneaux ne sont pas toujours visibles par tous.

5.4.3 Le développement du tourisme

Les SFN, lorsqu'elles sont végétalisées, apportent de la nature en ville. Cette nature va contribuer à l'embellissement de la ville et peut générer un développement du tourisme. L'accroissement touristique d'une ville étant basé sur de nombreux facteurs (qualité des hébergements, quantité de services proposés, facilité d'accès, etc.), il n'a pas été possible, dans le cadre de cette étude, de quantifier l'impact des SFN sur le développement du tourisme. Il est, cependant, certain, que les SFN végétalisées contribuent positivement à l'image d'une commune. Cette dernière pourra également inciter de nouveaux habitants à s'installer en ville car la nature, surtout depuis les confinements de 2020 et 2021, est de plus en plus plébiscitée en milieu urbain.

L'impact des SFN sur les services culturels est essentiel, car elles contribuent à l'amélioration du cadre de vie, tant d'un point de vue esthétique (confort visuel, confort olfactif) que d'un point de vue bien-être et utilité sociale (nouveaux lieux de rencontre).

Les panneaux d'information et les actions de communication menées par Roannaise de l'eau auprès des habitants du territoire contribuent au développement d'une sensibilisation environnementale.

Il n'a pas été possible de démontrer l'impact des SFN sur le développement du tourisme mais l'introduction de la nature en ville permet aux collectivités de développer des labels « verts » afin d'attirer les touristes.

6 Quels sont les autres enjeux liés à la mise en œuvre des SFN ?

6.1 Coûts d'investissement et de fonctionnement moins élevés que pour les infrastructures grises

Les coûts d'investissement et de fonctionnement des solutions fondées sur la nature pour la gestion des eaux pluviales sont, en règle générale, moins élevés que ceux des infrastructures grises.

Une étude du GRAIE¹⁸ a mis en avant cette différence en comparant trois scénarios :

- Scénario 1 : réseau pluvial strict et bassin d'infiltration
- Scénario 2 : réseau pluvial strict, bassin d'infiltration et plus-value paysagère
- Scénario 3 : noues d'infiltration

En termes d'investissement, le coût de la noue est inférieur à 3,5 fois au scénario 1 et 3,7 fois au scénario 2.

En termes de fonctionnement, le coût de la noue représente 1,4 fois celui du scénario 1 et 0,6 fois celui du scénario 2. Ainsi, les coûts d'entretien des SFN peuvent être légèrement plus élevés que ceux d'une infrastructure dite grise (génie civil) mais comme précisé dans le paragraphe 3.2, cet entretien ne génère pas de surcharge de travail pour les services des espaces verts des collectivités concernées.

Les SFN permettent d'éviter des coûts plus élevés à la fois en termes d'investissement mais également en termes de fonctionnement.

6.2 Moindres coûts du renouvellement des réseaux

La gestion des eaux pluviales via les solutions fondées sur la nature permet de réduire les volumes d'eau qui entrent dans les réseaux unitaires d'assainissement. Ces réseaux sont dimensionnés pour recevoir des eaux pluviales et des eaux usées. La déconnexion des eaux pluviales de ces réseaux peut présenter les deux intérêts suivants :

- Les réseaux sont moins surchargés et pourront supporter une éventuelle augmentation de la population sans qu'il soit nécessaire de les remplacer par des tuyaux d'un diamètre supérieur et de construire une station d'épuration ayant une capacité de traitement supérieure.
- Lors de leur remplacement et si un accroissement de la population n'est pas envisagé, le diamètre des tuyaux sera d'un diamètre inférieur à celui actuellement en place.

Le tableau suivant met en évidence la surface traitée par actions mises en œuvre réparties selon leur type et leur impact sur les réseaux.

¹⁸ Comparaison des coûts de différents scénarios de gestion des eaux pluviales, étude de cas, GRAIE, septembre 2018.

Tableau 19 : Répartition des SFN par type et selon leur impact sur les réseaux

Surface traitée par les SFN en m ²	Déconnexion du réseau pluvial	Déconnexion du réseau unitaire	Sans aggravation sur le réseau	Sans aggravation sur le réseau pluvial	Sans aggravation sur le réseau unitaire	Total
Bassin d'infiltration	1 134			10 824	46 446	57 459
Jardin de pluie		527				527
Mare	241					241
Massif infiltrant		7 624				7 624
Massif stockant		457		740		1 197
Noue drainante				5 752		5 752
Noue infiltrante		4 448	1 509			5 957
Noue infiltrante enherbée	7 024	12 035		12 327	42 031	73 417
Noue infiltrante non végétalisée		3 839				3 839
Noue infiltrante végétalisée		36 938	1 800		708	39 446
Noue infiltrante végétalisée et enherbée		2 747				2 747
Toiture végétalisée	1 637	1 373				3 010
Total	10 036	69 988	3 309	29 643	89 185	202 161

Si l'on s'intéresse uniquement à la déconnexion du réseau unitaire, il est possible d'estimer le nombre de mètres linéaires concernés par cette déconnexion au regard de la surface traitée en m². Ce calcul peut être uniquement fait pour les noues pour lesquelles une conversion de la surface associée en m² via des mètres linéaires peut être réalisée. En effet, si l'on considère qu'une noue mesure en moyenne 2 mètres de large, il est possible d'en déduire qu'un mètre linéaire de noue représente 2 m². Les surfaces consacrées aux noues qui ont généré une déconnexion du réseau unitaire, représentent 30 000 mètres linéaires.

Pour le financement des réseaux, l'agence de l'eau Loire-Bretagne propose des coûts plafonds pour les dossiers d'aide, qui correspondent au prix du marché.

Tableau 20 : Coûts plafonds proposés par l'AELB pour la pose et la réhabilitation de réseaux gravitaires à surface libre pour les eaux usées (Source : appel à projets de travaux de réduction des rejets des réseaux d'eaux usées des collectivités, AELB, 2020)

Diamètre nominal (mm)	D 160	D 200	D 250	D 300	D 400	D 500	D 600
Coût plafond € HT/ml	385	425	490	550	660	755	825
Ecart entre 2 diamètres en € HT/ml	40	65	60	110	95	70	

Si l'on applique ces coûts plafonds, en cas de non remplacement des réseaux d'eaux usées grâce à la déconnexion, le coût évité pour Roannaise de l'eau, sur la base d'un coût moyen de 584 €/ml pourrait être de **17 530 K€**.

L'analyse des coûts plafonds proposés par l'agence de l'eau Loire-Bretagne pour la pose et la réhabilitation de réseaux gravitaires met en évidence une réduction des coûts en cas de diminution de diamètre, comprise entre 40 et 110€. Ainsi, en cas réhabilitation des réseaux via un diamètre inférieur, le coût évité pour la collectivité sera compris entre 1 200 K€ et 3 300 K€, soit un coût moyen de **2 250 K€**.

Ainsi, le coût évité est compris entre 2 250 K€ et 17 530 K€, selon l'option mise en œuvre (non remplacement des réseaux si accroissement de population ou remplacement des tuyaux de diamètre inférieurs).

6.3 Diminution des coûts de traitement des eaux usées

La diminution des volumes d'eaux pluviales dans le réseau unitaire va permettre de réduire les coûts de traitement des eaux qui transitent par les réseaux d'eaux usées. Pour identifier les données non injectées dans le réseau, il convient d'estimer les volumes de pluie qui se sont infiltrés directement à la parcelle pour les surfaces des ouvrages qui ont permis une déconnection du réseau unitaire.

Les précipitations sur le territoire roannais sont estimées à partir des précipitations annuelles du département de la Loire.

Tableau 21 : Estimation des précipitations sur le département de la Loire (source : Eau France)

Année	Volume de précipitations annuelles en m ³	Surface en m ² du département de la Loire	Précipitations en m ³ / m ²
2010	4 488 000 000	4 781 000 000	0,94
2011	3 473 000 000		0,73
2012	4 463 000 000		0,93
2013	4 816 000 000		1,01
2014	4 717 000 000		0,99
2015	3 310 000 000		0,69
2016	4 345 000 000		0,91
2017	3 448 000 000		0,72
2018	3 914 000 000		0,82
2019	nd		0,86 *
2020	nd		0,86 *
2021	nd		0,86 *

Les surfaces concernées par la déconnexion du réseau unitaire des eaux usées sont présentées dans le tableau suivant. Ainsi, depuis 2010, près de 65 000 m² ont été déconnectés du réseau unitaire.

Tableau 22 : Surface déconnectée du réseau unitaire suite à la mise en œuvre de chantiers SFN (source : Roannaise de l'eau)

Année	m ² déconnectés du réseau unitaire	m ² cumulés déconnectés du réseau unitaire
2010		
2011	5 218	5 218
2012	30 520	35 738
2013	784	36 522
2014	2 250	38 772
2015	8 517	47 289
2016	12 652	59 941
2017	2 747	62 688
2018		62 688
2019		62 688
2020		62 688
2021	2 160	64 848
Total	64848	

Le volume de pluie n'ayant pas transité dans le réseau unitaire grâce aux ouvrages SFN est calculé à partir de la moyenne de pluie observée chaque année et de la surface déconnectée cumulée. Ces volumes sont ensuite associés à la part assainissement du prix de l'eau afin de déterminer les coûts de traitement évités. Ces derniers sont estimés sur la période 2010-2021 à près de **868 K€**.

Tableau 23 : Coûts de traitement évités (Source : Eau France – SISPEA- traitement Eco Logique Conseil)

Année	Pluie n'ayant pas transité dans le réseau unitaire en m3	Prix eau assainissement en €/m3	Coûts de traitement évités
2010	0	1,49	- €
2011	3 790	1,57	5 951 €
2012	33 361	1,56	52 043 €
2013	36 789	1,61	59 231 €
2014	38 253	1,67	63 882 €
2015	32 739	1,92	62 859 €
2016	54 475	1,92	104 591 €
2017	45 210	1,95	88 159 €
2018	51 320	1,98	101 614 €
2019	53 867	1,99	107 195 €
2020	53 867	2,03	109 349 €
2021	55 723	2,03	113 117 €
	Total		867 992 €

7 Bilan et perspectives

Les SFN génèrent des bénéfices environnementaux au travers du développement de services écosystémiques mais également des bénéfices financiers grâce à des impacts indirects (renouvellement des réseaux, moindres coûts de traitement des eaux usées...).

L'intégralité des impacts identifiés sur les services écosystémiques lors du démarrage de l'étude n'a pu être chiffré par manque de données disponibles. La figure suivante présente les impacts qui ont pu être estimés et ceux qui n'ont pu être présentés que de manière qualitative.

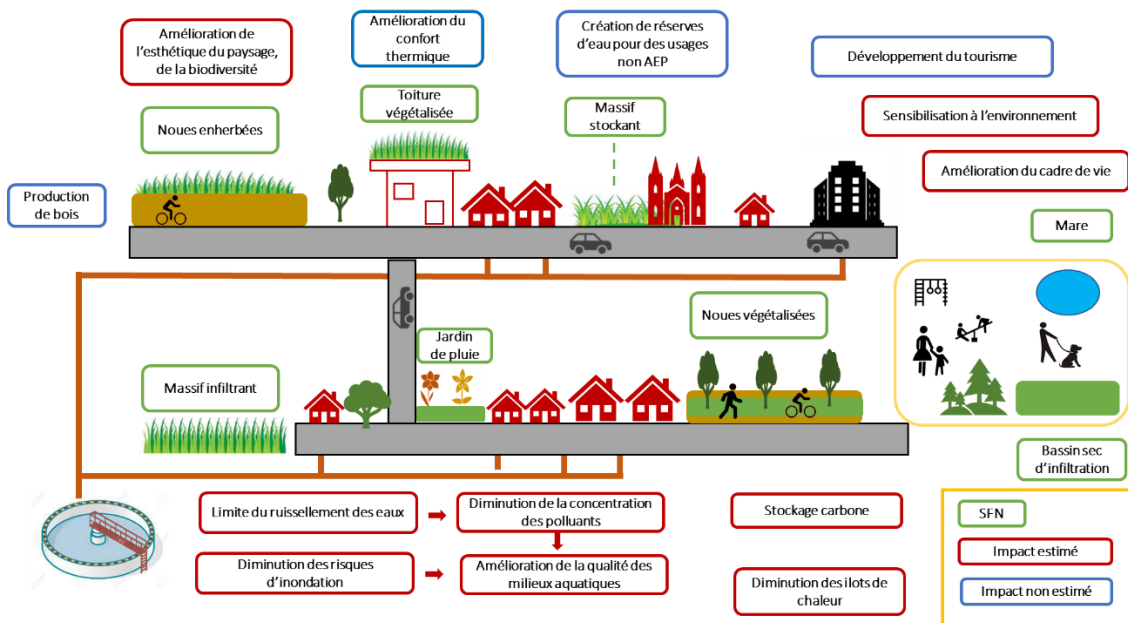


Figure 23 : Impacts potentiels estimés ou non estimés des SFN sur les services écosystémiques

Par ailleurs, les SFN permettent de sortir d'une logique « tout tuyau » et en construisant des espaces multi-dimensionnels qui vont contribuer au développement d'une certaine résilience du territoire. Ainsi l'apport des SFN à l'atténuation du changement climatique, à l'amélioration de la qualité des eaux, au développement de la biodiversité, à l'accroissement de la qualité de vie des habitants, ..., permettra au territoire roannais de mieux résister à certains phénomènes climatiques qui pourraient survenir ces prochaines années.

La figure suivante présente l'ensemble des bénéfices identifiés, sur les services écosystémiques et les services socio-économiques, sur l'agglomération de Roanne pour les SFN dédiées aux eaux pluviales.

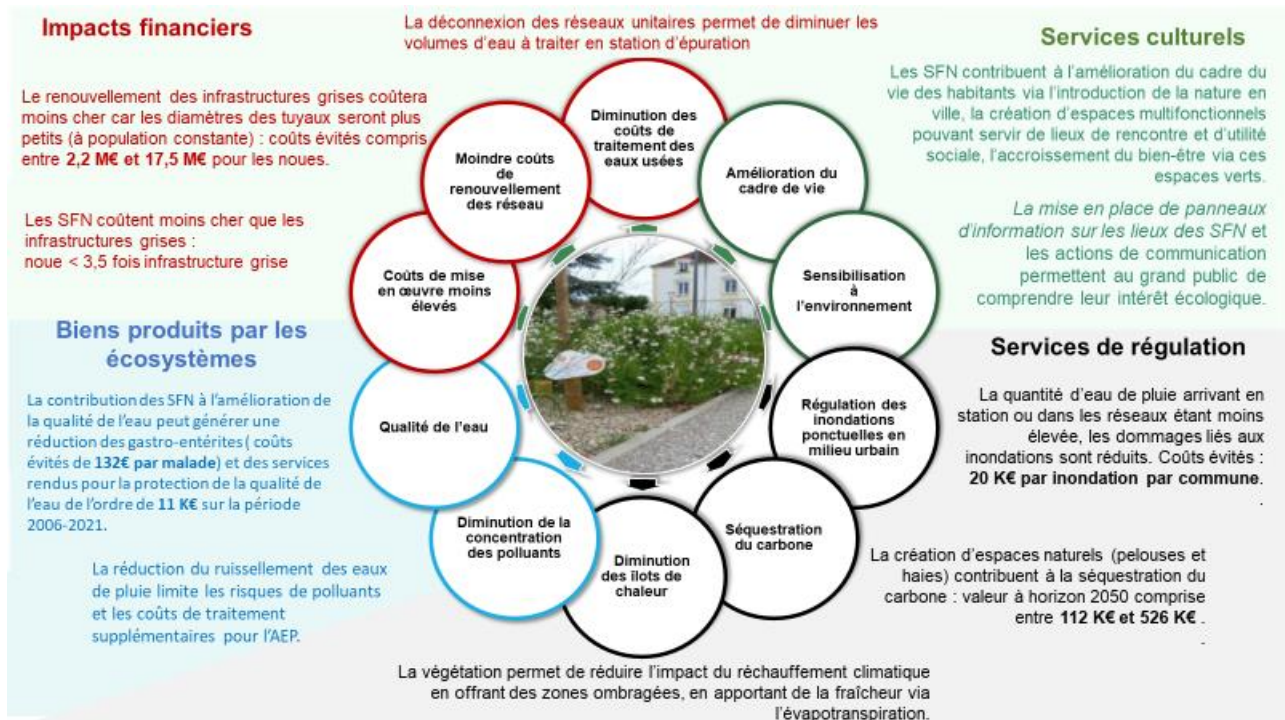


Figure 24 : Bénéfices résultant de la mise en œuvre des SFN (source : Eco Logique Conseil)

La mise en œuvre de ces bénéfices nécessite le passage de différentes étapes :

- Les communes doivent sortir de leur schéma traditionnel de travaux de génie civil et s'orienter vers des solutions de génie écologique. Cette solution leur permettra de diminuer leurs coûts d'investissement et de fonctionnement.
- Des réunions de concertation, en amont, avec les aménageurs contribuera au choix des solutions à mettre en œuvre, y compris des végétaux à planter sur les nouveaux espaces verts.
- Les SFN permettent de développer les relations entre différents services des collectivités qui auparavant travaillaient peu ensemble.
- Les services des espaces verts devront prendre en compte qu'une charge supplémentaire de travail sera associée à ces nouveaux ouvrages, même si cette dernière reste limitée.

Il convient de mettre en parallèle, deux inconvénients associés aux solutions fondées sur la nature pour la gestion des eaux pluviales :

- Elles génèrent une emprise au sol qui est supérieure à celles des infrastructures grises. Cet espace supplémentaire à trouver peut être un frein au développement de ces techniques dans des zones très urbanisées.
- Il n'existe actuellement pas de taxe sur l'eau pluviale et les collectivités doivent financer les SFN liées à la gestion intégrée des eaux pluviales via le budget général.

Cependant le fait que ces actions soient relativement récentes et soient souvent mises en œuvre simultanément à des infrastructures intégrant uniquement du génie civil, met en évidence le manque de données pouvant être disponibles afin de chiffrer les impacts de ces solutions. Ainsi, plusieurs impacts n'ont pu être chiffrés dans le cadre de cette étude mais une méthodologie a été proposée, pour la plupart d'entre eux, afin de pouvoir réaliser ce chiffrage dans le futur, une fois que les données seront disponibles.

8 Références

- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.) (2016), Nature-based Solutions to address global societal challenges, IUCN
- ADOPTA – fiches techniques et cas d’études- <https://adopta.fr/>
- Balmford A., Rodrigues A. S. L., Walpole M., ten Brink P., Kettunen M., Braat L. et de Groot R. (2008), The Economics of Biodiversity and Ecosystems: Scoping the Science. Cambridge, UK: European Commission
- Bartsch SM, Lopman BA, Ozawa S, Hall AJ, Lee BY (2016) Global Economic Burden of Norovirus Gastroenteritis. PLOS ONE 11(4) : e0151219. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151219>
- Certu (2008), L’assainissement pluvial intégré dans l’aménagement : éléments clés pour le recours aux techniques alternatives, 196 pages.
- Chevassus-au-Louis B. et alt. (2009) Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes - Contribution à la décision publique
- Comparaison des coûts de différents scénarios de gestion des eaux pluviales, étude de cas, GRAIE, septembre 2018.
- Devenir des micropolluants au sein des ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source ou centralisés – synthèse du projet de recherche MiroMégas- Graie - 2020
- France Stratégie - Guide de l’évaluation socioéconomique des investissements publics – révision du taux d’actualisation du 23 novembre 2021
- Gestion durable des eaux pluviales à la parcelle en zone urbanisable – fiche informative outil de gestion des eaux pluviales n°11, Wallonie environnement SPW : http://jesuishesbignon.be/wp-content/uploads/2020/03/fiche_11_massifs.pdf
- Gestion durable des eaux pluviales à la parcelle en zone urbanisable – fiche informative outil de gestion des eaux pluviales n°11, Wallonie environnement SPW.
- Gestion intégrée des eaux pluviales, Pourquoi ? Comment ? Retour d’expériences de collectivités de Loire-Bretagne, mai 2016, http://www.eau-loire-bretagne.fr/collectivites/guides_et_etudes/eaux_pluviales/DepliantEauxPluviales_2016.pdf.
- GRAIE – base de données observatoire – accès aux fiches techniques par mesures mises en oeuvre
- Guide Bâtiment Durable Brussels : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/jardin-de-pluie.html?IDC=10708>
- Guide de l’évaluation socioéconomique des investissements publics – révision du taux d’actualisation du 23 novembre 2021 : <https://www.strategie.gouv.fr/evaluation/comite-devaluation-socioeconomique-projets-dinvestissements-publics>
- Haines-Young, R. and M.B. Potschin (2018): Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure - <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>
- http://archives.strategie.gouv.fr/cas/system/files/rapport_18_biodiversite_web.pdf
- ISadOra – gestion des eaux pluviales, clef 15. https://www.ehesp.fr/wp-content/uploads/2020/06/V_15_Gestion-eaux-pluviales-web.pdf
- Loire-Foréz agglo : guide technique sur la gestion intégrée des eaux pluviales, 2020, 32 pages.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005), Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment, Island Press
- Pluie extrême : <http://pluiesextremes.meteo.fr>
- Pluviométrie annuelle sur le département de la Loire : <https://cartograph.eaufrance.fr/donnees/1710522/2010>
- Roannaise de l’eau – fiches techniques gestion des eaux pluviales en milieu urbain
- UICN (2019), Les Solutions Fondées sur la Nature pour les risques liés à l’eau en France, 35 pages.

9 Annexes

9.1 Annexe 1 : classification des services écosystémiques définie par le CICES

Types	Division	Classe	Exemples de biens et services, et d'avantages associés	
Fonctions écologiques	Maintien des cycles de vie et des habitats	Habitats et espèces	Pollinisation et dispersion des semences	
			Nurseries et nourrissage des espèces sauvages	
			Maintien des cycles de vie (eau, azote, carbone)	
			Protection des habitats et des ressources génétiques	
			Production primaire	
			Décomposition	
			Résistance aux ravageurs et aux agents pathogènes	
		Régulation des espèces exotiques envahissantes		
		Sols	Formation des sols Qualité du sol et fertilité (composition, structure)	
Biens produits par les écosystèmes	Alimentation	Plantes, algues et animaux sauvages et leurs produits destinés à l'alimentation, l'agriculture ou l'aquaculture	Végétaux issus de la cueillette ou du ramassage (algues champignons, etc.)	
			Produits de la pêche (poissons, crustacés, etc.)	
			Venaison	
			Fourrages	
			Plantes cultivées, animaux d'élevage et leurs produits destinés à l'alimentation	Biens agricoles Produits issus de l'aquaculture
			Eau potable ou destinée aux usages agricoles	Eau de surface Eau souterraine
	Matériaux		Matériaux biosourcés	Bois d'œuvre et bois d'industrie, Liège, fibres végétales (lin, chanvre, etc.)
			Eau destinée aux usages industriels	Eau de surface Eau souterraine
	Énergie		Biomasse végétale	Bois-énergie
	Autres biens		Molécules et substances naturelles	Enzymes, huiles, substances médicinales
			Autres biens	Peaux, objets décoratifs
	Services de régulation	Régulation des flux	Régulation de l'érosion	Régulation de l'érosion du trait de côte
Prévention de l'érosion éolienne et hydrique des sols				
Protection contre les risques naturels			Protection contre les risques en montagne	
			Régulation des débits de crue	
			Protection contre les submersions marines	
			Réduction des dommages de tempêtes	
Régulation du cycle de l'eau		Régulation des débits d'étiage		
Régulation de l'environnement physico-chimique			Régulation du climat mondial	Séquestration du carbone
			Régulation du climat local	Atténuation d'îlot de chaleur urbain
			Régulation de la qualité de l'air	Régulation des concentrations en particules
			Régulation de la qualité de l'eau	Réduction des coûts de traitement de l'eau
			Qualité du sol et fertilité	Fourniture en azote assimilable par les plantes cultivées
Régulation de l'environnement biotique		Régulation des conditions de culture et d'élevage	Régulation des graines d'adventices	
			Régulation des insectes ravageurs des cultures	
			Régulation des maladies animales	
		Régulation des risques de santé	Pollinisation des cultures	
			Régulation des maladies infectieuses	
Régulation des nuisances associées aux activités humaines		Régulation des déchets et des sources de pollution	Régulation des espèces dangereuses	
			Décomposition des déchets	
		Réduction des nuisances olfactives, sonores et visuelles	Épuration des eaux usées	
	Réduction des niveaux de bruits			
		Réduction des odeurs et pollutions chimiques de l'air		

Types	Division	Classe	Exemples de biens et services, et d'avantages associés
Services écosystémiques culturels	Interactions physiques et intellectuelles avec les écosystèmes et les paysages	Récréation sans prélèvement	Activités récréatives et de loisirs
			Sports de nature
			Tourisme vert et écotourisme
		Récréation avec prélèvement	Chasse
			Pêche de loisir
		Éducation et connaissance	Expérimentation, science
			Éducation
		Aménités paysagères	Attractivité touristique
			Attractivité territoriale
	Qualité du cadre de vie		
	Sites, paysages et espèces remarquables	Éléments protégés des écosystèmes	Sites et paysages naturels protégés
			Espèces protégées
		Éléments labellisés des écosystèmes	Arbres remarquables
			Espèces rares
			Espèces et sites emblématiques
		Biens issus des écosystèmes à valeur patrimoniale	Produit labellisés
	Produits issus de pratiques traditionnelles		
	Autres formes d'interaction	Culture, attachement et identité	Sites, paysages et espèces cités dans l'art ou la littérature
Sites, paysages et espèces traditionnels / historiques			
Esthétique et spiritualité		Sites, paysages et espèces à caractère sacré	

9.2 Annexe 2 : questionnaire auprès des habitants



Quels sont les impacts des espaces naturels dédiés à la gestion de l'eau de pluie ?

Questionnaire à destination des habitants de l'agglomération de Roanne

De nombreuses espaces naturels ont été réalisées en roannais, parfois sur votre commune, pour gérer les eaux de pluie. Ces ouvrages utilisent des fonctionnements naturels et contribuent à gérer la ressource en eau et à répondre au changement climatique.




L'Agence de l'Eau Loire Bretagne et Roannaise de l'Eau souhaitent recueillir votre avis pour identifier les bénéfices de ces actions dans votre quartier. Ce questionnaire ne vous prendra que 3 minutes à remplir (12 questions). Nous vous remercions par avance du temps que vous consacrez à nous répondre. Les informations que vous partagez seront traitées d'une manière anonyme¹⁹.

La gestion de l'eau pluviale dans votre quartier.

Où va l'eau de pluie qui tombe sur les toits et sur la route de votre quartier ? L'eau de pluie peut être gérée de différentes manières :

- Elle peut être collectée par des bouches d'égout et être ensuite déversée dans des ouvrages de traitement (station d'épuration, bassin d'orage...)
- Elle peut être traitée là où elle tombe et s'infiltrer directement dans les terrains via des espaces naturels tels que ceux présentés ci-dessous :

¹⁹ Pour plus de renseignements sur cette enquête et sur l'étude de l'Agence de l'eau, vous pouvez contacter Sophie Nicolai du bureau d'études Eco Logique Conseil : sophie.nicolai@eco-logique-conseil.fr ou 04 22 14 53 09.

Noue enherbée	Jardin de pluie	Toiture végétalisée
		
Parking du cimetière à Commelle-Vernay	Rue Ledru Rollin à Le Coteau	Centre technique d'exploitation de Roannaise de l'eau

Bassin d'infiltration	Massif stockant
	
Salle de sport à Commelle Vernay	Place de l'église à Le Coteau

1. Savez-vous si des espaces naturels de ce type, dédiés à la gestion de l'eau de pluie, ont été mis en œuvre dans votre quartier récemment ?

Non

Oui : pouvez-vous préciser :

Comment avez-vous eu connaissance de cette information ?

par la commune ou Roannaise de l'eau : journal de la mairie, site internet

par des panneaux d'affichage

par la presse

en voyant les travaux

en discutant avec des voisins

autre :

je ne me souviens plus

2. Depuis la mise en place des espaces naturels dédiés à la gestion de l'eau de pluie dans votre quartier, diriez-vous :

Que la végétation (arbres, arbustes, massifs fleuris, bande d'herbe) est :

plus importante

identique

moindre

Que les odeurs diffusées par ces espaces sont :

Plus fortes et agréables

Plus fortes et désagréables

Identiques

moindres

Que le nombre d'oiseaux que vous entendez ou observez est :

plus important

identique

moindre

Que le nombre d'insectes (papillons, coccinelles, libellules, abeilles...) est :

plus important

identique

moindre

Avez-vous vu apparaître de nouveaux animaux (rats, serpents, grenouilles...) ?

oui

non

Que la chaleur en ville a diminué ?

oui tout à fait

oui moyennement

oui très légèrement

non pas du tout

3. Suite à la mise en place de ces espaces, avez-vous constaté une réduction des eaux de pluie sur la route et les caniveaux ?

oui

non

je ne sais pas

4. La mise en place des espaces naturels dédiés à la gestion de l'eau de pluie s'est-elle accompagnée de création d'espaces récréatifs ?

Oui

création d'aires de jeux pour les enfants

création d'aires de pique-nique

création d'espaces sportifs (boulodrome, parcours de santé...)

autres, précisez :

Non

5. Avez-vous identifié des panneaux de sensibilisation à l'environnement à proximité des espaces naturels dédiés à la gestion de l'eau de pluie ?

oui mais je n'en ai pas pris connaissance

oui mais je n'ai pas compris leur message

oui et j'ai compris leur message

non, je n'en ai pas vu dans mon quartier

6. Depuis la mise en place des espaces naturels dédiés à la gestion de l'eau de pluie, diriez-vous que votre qualité de vie :
- s'est améliorée
 - est identique
 - s'est dégradée
7. La création de ces espaces naturels dédiés à la gestion de l'eau de pluie, vous a-t-elle permis (plusieurs réponses possibles) :
- de pratiquer certains usages dans ces espaces : balade, footing, promenade du chien, vélo avec les enfants...
 - oui mais rarement
 - oui parfois
 - oui régulièrement
 - non car je pratique ces usages dans d'autres espaces
 - non car je ne pratique pas ces usages
 - non car je n'utilise pas ces espaces
 - de rencontrer des personnes du quartier dans ces espaces
 - oui mais rarement
 - oui parfois
 - oui régulièrement
 - non car je ne rencontre personne quand j'utilise ces espaces
 - non car je n'utilise pas ces espaces
8. Vous arrive-t-il de discuter de ces espaces avec des personnes du quartier ou de votre famille ?
- non jamais
 - oui mais rarement
 - oui parfois
 - oui régulièrement
9. Diriez-vous que durant le premier confinement du printemps 2020 (plusieurs réponses possibles) :
- j'ai pu profiter de ces espaces naturels lors de ma sortie quotidienne
 - la vue de la végétation de ces espaces depuis votre domicile, les sons et les odeurs diffusés m'ont permis de compenser, dans une moindre mesure, des sorties en pleine nature
 - les animaux qui ont investi ces espaces (oiseaux, insectes, etc.) m'ont permis de me sentir plus près de la nature
 - ces espaces n'ont pas eu d'impact sur mon quotidien

10. Diriez-vous que durant le troisième confinement du printemps 2021 (plusieurs réponses possibles) :

vous avez pu profiter de ces espaces naturels lors de votre sortie quotidienne

la vue de la végétation de ces espaces depuis votre domicile, les sons et les odeurs diffusés vous ont permis de compenser, dans une moindre mesure, des sorties en pleine nature

les animaux qui ont investi ces espaces (oiseaux, insectes, etc.) vous ont permis de vous sentir plus près de la nature

vous n'avez pas profité de ces espaces car vous avez pu sortir dans un rayon de 10 km autour de votre domicile

ces espaces n'ont pas eu d'impact sur votre quotidien

11. Avez-vous constaté d'éventuels conflits entre les personnes profitant de ces espaces naturels dédiés à la gestion de l'eau de pluie :

oui pouvez-vous préciser le type de conflit :

.....

non

12. A propos de vous :

<p>Vous êtes :</p> <p><input type="checkbox"/> une femme</p> <p><input type="checkbox"/> un homme</p>	<p>Vous avez :</p> <p><input type="checkbox"/> entre 18 et 30 ans</p> <p><input type="checkbox"/> entre 31 et 50 ans</p> <p><input type="checkbox"/> entre 51 et 70 ans</p> <p><input type="checkbox"/> plus 70 ans</p>	<p>Diriez-vous que votre sensibilité à l'environnement :</p> <p><input type="checkbox"/> est inexistante</p> <p><input type="checkbox"/> est faible</p> <p><input type="checkbox"/> est moyenne</p> <p><input type="checkbox"/> est importante</p>
---	---	--

Pouvez-vous nous indiquer le nom de votre commune :

.....

Nous vous remercions pour votre participation à cette enquête, votre avis nous est précieux. Pour plus d'informations sur la gestion des eaux pluviales, vous pouvez contacter Roannaise de l'Eau : www.roannaise-de-leau.fr - 04 77 68 54 31 – contact@roannaise-de-leau.fr

L'Agence de l'eau Loire-Bretagne est un établissement public de l'Etat qui œuvre pour la préservation de la qualité des milieux aquatiques et de la biodiversité associée. Dans ce cadre, l'Agence de l'eau lance une étude sur les bénéfices d'actions engagées pour retenir l'eau de pluie et les polluants, stocker du carbone, améliorer la biodiversité ou fournir un cadre de vie aux habitants et visiteurs des communes concernées. Les actions visées sont celles qui utilisent les fonctionnements de la nature et contribuent à protéger, gérer durablement et restaurer les écosystèmes afin de répondre à des enjeux variés (changement climatique, gestion de la ressource en eau...). On les appelle des Solutions Fondées sur la Nature (SFN).

Roannaise de l'Eau est un syndicat qui gère la compétence eaux pluviales sur votre commune. Certains ouvrages sont réalisés, soit par Roannaise de l'Eau, soit par les communes de l'agglomération, pour gérer les eaux pluviales (noues enherbées, massif filtrant, jardin de pluie...). Ce sont des Solutions Fondées sur la Nature.

Conformément à la loi Informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression des données vous concernant auprès de Sophie Nicolai du bureau d'études Eco Logique Conseil : sophie.nicolai@ecologique-conseil.fr ou 04 22 14 53 09.