

Gestion des eaux pluviales en milieux urbain et industriel

—
23 offres des instituts Carnot

Eau & Environnement et Clim'adapt

pour les entreprises, les collectivités

et les acteurs de l'aménagement durable



Publié à l'occasion de la Rencontre Ecotech® Eaux pluviales
du 27 septembre 2022

[page web de l'événement](#)

Vous êtes une entreprise ou une collectivité et vous cherchez à innover pour une meilleure gestion des eaux pluviales ?

Vous trouverez dans ce portfolio les **contacts directs**, ainsi que l'**offre de compétences et de technologies des instituts Carnot Eau & Environnement et Clim'adapt**.

Ces derniers sont engagés dans le développement des partenariats entre la recherche publique et les entreprises – de la PME au grand groupe – ou les collectivités territoriales.

Vingt-trois fiches « offres » vous sont proposées, dans les domaines :

- de la gestion intégrée (décentralisée) des eaux pluviales ;
- des réseaux et infrastructures de collecte et de stockage ;
- de la conception et évaluation de solutions durables pour la gestion des eaux pluviales.

Ce sont des exemples parmi les nombreux résultats obtenus par les unités de recherche des Carnot.

Ce document a été réalisé à l'occasion de la Rencontre Ecotech® Eaux pluviales - Gestion en milieu urbain et industriel, organisée le 27 septembre 2022 par le PEXE, le Carnot Eau & Environnement, le Carnot Clim'adapt, l'Agence de l'eau Seine-Normandie et Bpifrance.

Notre objectif : favoriser le développement de nouvelles collaborations visant à accélérer le déploiement de solutions innovantes pour mieux gérer les eaux pluviales.

Il se manifeste aujourd'hui une volonté forte de l'ensemble des acteurs publics et privés d'innover afin de répondre aux multiples enjeux liés à la gestion durable des eaux pluviales, qui fait l'objet d'un plan d'action national.

Il va être nécessaire de relever de nombreux défis techniques, technologiques, scientifiques pour prévenir et gérer les inondations, préserver et protéger la ressource en eau, améliorer la performance des systèmes d'assainissement, et adapter les villes au changement climatique.

Le vivier exceptionnel de compétences des Carnot Eau & Environnement et Clim'adapt est à votre disposition pour y parvenir ensemble.

Élisabeth Vidal

*Directrice du Carnot
Eau & Environnement*



Thierry Braine-Bonnaire

*Directeur de l'institut
Carnot Clim'adapt*

01

Gestion intégrée (décentralisée) des eaux pluviales

- 02.....Plateforme d'évaluation des phénomènes climatiques du milieu urbain
- 03.....Outil d'aide à la décision pour la définition de scénarios de gestion décentralisée des eaux urbaines par des solutions fondées sur la nature
- 04.....Laboratoire Vivant des Solutions Fondées sur la Nature
- 05.....Jeu sérieux et modélisation pour la gestion des inondations
- 06.....Évaluation du potentiel de désimperméabilisation et mise en place d'une stratégie par les collectivités
- 07.....Favoriser une gestion intégrée de l'eau en ville et dans les infrastructures de transport
- 08.....Utiliser l'imagerie satellitaire pour la connaissance des territoires et des milieux
- 10.....Modélisation numérique pour l'anticipation des crues soudaines

02

Réseaux et infrastructures de collecte et de stockage

Logiciel CANOE :

fonctionnement des réseaux d'assainissement.....12

DSM-flux : canal de mesure des débits et concentrations.....13

Logiciel URBIS : gestion des eaux pluviales à la source.....14

Modèle Urbain pour l'étude du Risque d'Inondation (MURI).....15

Plateforme ATHYS pour la cartographie des écoulements de surface.....16

03

Conception et évaluation de solutions durables pour la gestion des eaux pluviales

- 18.....Évaluation des performances de solutions pour la gestion intégrée des eaux pluviales urbaines
- 19.....Analyse coûts et bénéfices des techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales
- 20.....Solutions fondées sur la nature pour le traitement des eaux urbaines en vue de la réutilisation
- 21.....Logiciels pour mieux concevoir la gestion des eaux pluviales urbaines
- 22.....Plateforme de caractérisation des propriétés physiques et des performances des toitures végétalisées
- 23.....Plateforme expérimentale GROOF pour toitures végétalisées
- 24.....Évaluation de l'évapotranspiration issue de surfaces urbaines végétalisées
- 25.....Ouvrages végétalisés : performances et phytoremédiation
- 26.....Projet SysGEP : mise en œuvre de l'approche de dynamique des systèmes en aide aux choix stratégiques et de gestion des ouvrages d'eaux pluviales
- 27.....Méthode d'évaluation des services écosystémiques des aménagements durables de gestion des eaux pluviales

- 28.....Découvrir le Carnot Eau & Environnement
- 29.....Découvrir Clim'adapt, l'institut Carnot du Cerema



01

Gestion intégrée
(décentralisée)
des eaux pluviales

Plateforme d'évaluation des phénomènes climatiques du milieu urbain

Équipe de recherche TEAM
(Transferts et interactions liés à l'eau en milieu construit)
Cerema, Directions territoriales Île-de-France et Est

Julien BOUYER - julien.bouyer@cerema.fr

utilité - utilisateurs

Cette plateforme mobilise un ensemble de compétences, de matériels, de démonstrateurs et de méthodes spécifiques permettant d'étudier l'**impact de l'aménagement urbain sur les phénomènes climatiques locaux**, en particulier celui des îlots de chaleur.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

La plateforme s'appuie sur des **moyens de mesure modernes et innovants**, comme des mesures micro-climatiques mobiles dans un véhicule, et sur l'expertise des chercheurs en climatologie et hydro-climatologie urbaines.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

L'équipe scientifique et technique peut intervenir selon plusieurs postures :

- **coordination** et **participation** à des projets d'évaluation des îlots de chaleur et des phénomènes microclimatiques dans les quartiers urbains et péri-urbains ;
- **réalisation, traitement** et **analyse** de mesures micro-météorologiques mobiles pour les acteurs des territoires ;
- **conception** et **mise en place** de réseau de mesures météorologiques in situ ;

- **cartographies** climatiques urbaines et calcul d'indicateurs de diagnostic multicritères ;
- **accompagnement** à l'intégration des diagnostics climatiques dans les projets urbains innovants ;
- **formation** : outils et méthodes pour la climatologie urbaine, impact de la nature en ville.

En savoir plus

Équipe de recherche TEAM
Plateforme d'évaluation des phénomènes climatiques du milieu urbain



Station météorologique en réseau en hypercentre de Nancy (à gauche)

Véhicule de mesures mobiles (à droite)

© Cerema

Outil d'aide à la décision pour la définition de scénarios de gestion décentralisée des eaux urbaines par des solutions fondées sur la nature

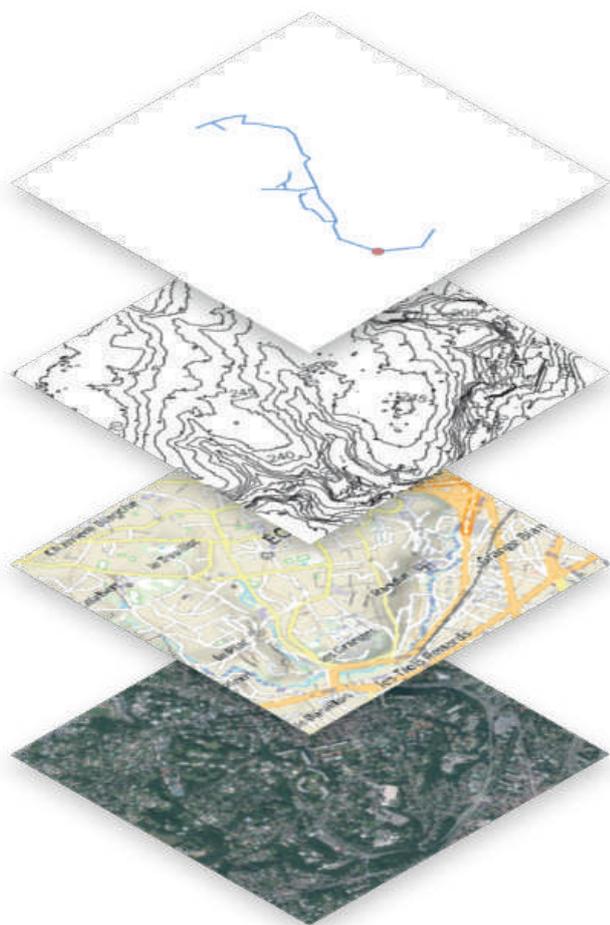
Unité de Recherche REVERSAAL,
Réduire, réutiliser, valoriser
les ressources des eaux résiduaires -
INRAE Lyon

Laboratoire DEEP
Déchets, Eaux, Environnement, Pollutions -
INSA Lyon

Pascal MOLLE - pascal.molle@inrae.fr
Gislain LIPEME KOUYI - gislain.lipeme-kouyi@insa-lyon.fr

utilité - utilisateurs

La **gestion décentralisée des eaux urbaines de temps de pluie** nécessite une réflexion intégrée à l'échelle d'un territoire pour savoir comment optimiser le degré de déconnexion des eaux urbaines (eaux pluviales, de ruissellement, eaux usées, eaux grises...), au regard des contextes locaux (foncier disponible, usages des eaux traitées, refroidissement des villes...), ainsi que la détermination des flux à traiter localement pour définir les technologies fondées sur la nature adaptées. Les différents **scénarios réalistes** sont ensuite évalués suivant différents critères (économique, environnemental, robustesse face au changement global), de manière à guider les décideurs dans leur planification. Les projets en cours ont pour objectif de produire un outil de planification territoriale (SIG) pour une **gestion décentralisée des eaux urbaines par des solutions fondées sur la nature**.



Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

Dans le cadre des projets **Multisource** (H2020), **CARIBSAN** (Interreg) et **TONIC**, différents outils à l'échelle d'un territoire sont développés. L'innovation provient du caractère intégré de l'optimisation des stratégies mises en œuvre.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Les projets sont en cours (2020-2024) et produiront un outil libre de droit pour les collectivités, bureaux d'études et aménageurs. Dans le cadre de son développement, des tests sur des cas concrets, au-delà de ceux prévus dans les projets, peuvent être envisagés.

En savoir plus
Multisource / CARIBSAN / TONIC

Laboratoire Vivant des Solutions Fondées sur la Nature

Projet en cours de construction

Cerema, Direction territoriale Île-de-France

Céline GIBELIN - celine.gibelin@cerema.fr

Philippe BRANCHU - philippe.branchu@cerema.fr

utilité - utilisateurs

Le **Laboratoire Vivant** (mise en œuvre prévue en 2023-2024 sur le site du Cerema à Trappes (78)) vise à soutenir le déploiement des solutions fondées sur la nature (SFN) aidant à la refonctionnalisation des sols, de la désimperméabilisation à la renaturation. Ces solutions permettent la **gestion à la source des eaux pluviales** (déconnexion et désimperméabilisation) et la refonctionnalisation des sols (reconstitution, reconstructions de sols...). Il a également pour objectif de former / sensibiliser différents publics (services techniques, aménageurs, élus, étudiants...), d'**appuyer l'innovation et la recherche autour de ces solutions**.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

Il proposera un lieu unique pour développer des **actions d'innovation** et des **projets de recherche** en accueillant les acteurs privés et publics et en mettant au centre les citoyens et les usagers, en développant la co-construction, la formation, l'évaluation en conditions réelles.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Notre ambition est de proposer aux **PME innovantes** une **plateforme modulaire** permettant de tester et évaluer leurs solutions techniques (TRL 5-7) et aux collectivités un transfert de connaissance permettant de mettre en œuvre des SFN répondant aux enjeux de leur territoire.



Jeu sérieux et modélisation pour la gestion des inondations

Unité Mixte de Recherche RECOVER
(Risques, Écosystèmes, Vulnérabilité, Environnement, Résilience) -
Aix-en-Provence

Équipe G²DR
(Géomécanique, Génie Civil, Décision, Risque) -
Aix-en-Provence

Franck SFILIGOI-TAILLANDIER - franck.taillandier@inrae.fr

utilité - utilisateurs

Le **projet MANA** (Modéliser pour augmenter l'acceptabilité des Solutions fondées sur la Nature) vise à concevoir un **modèle et un jeu sérieux** permettant de nourrir une réflexion collective autour des stratégies d'aménagement qui intègrent les **Solutions fondées sur la Nature** pour gérer le risque inondation.

Ce dispositif a pour objectif de générer des apprentissages sociaux auprès d'une multitude d'acteurs. Le jeu peut intéresser des collectivités souhaitant mettre en place des actions de **sensibilisation sur le risque inondation** ainsi que des bureaux d'études pour construire des prestations d'accompagnement de ces collectivités.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

L'originalité de ce travail est de coupler **jeu sérieux** (jeu de rôle) et **modèle Agent**, avec le support d'interfaces tangibles dont une maquette 3D interactive. Le **modèle numérique** simule les phénomènes physiques mais aussi psychologiques et sociaux induits par les décisions des joueurs confrontés à la mise en place d'un projet d'aménagement.

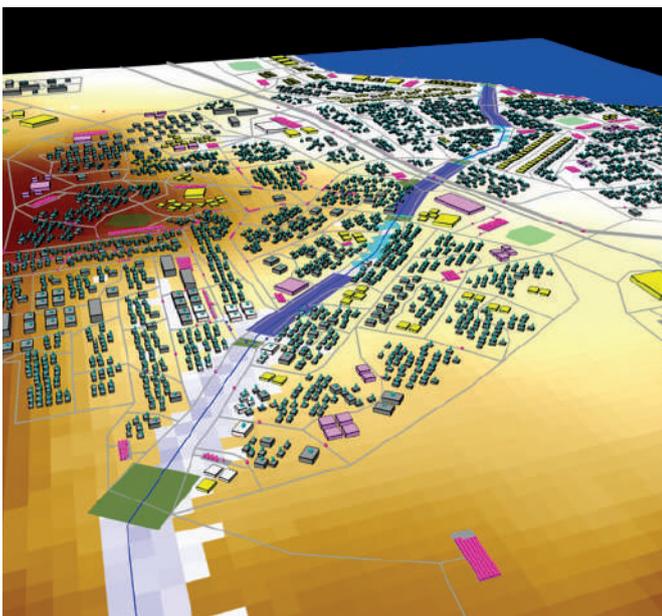
Les principes du jeu et le modèle peuvent se décliner sur des territoires virtuels ou réels présentant des spécificités différentes.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Le jeu est actuellement **en phase de test sur un territoire virtuel** pour atteindre un TRL 6 en 2023. Le modèle sera en accès libre et les principes et les règles du jeu seront publiés. L'unité recherche à court terme des partenaires pour tester le modèle, à moyen terme des partenaires pour l'améliorer en développant de nouveaux modèles de territoires (en montagne, présence d'un fleuve...).

En savoir plus

Des solutions fondées sur la nature
pour éviter les inondations



Capture d'écran de la simulation d'une inondation sur le territoire virtuel dans le logiciel GAMA
© Taillandier, 2022

Évaluation du potentiel de désimperméabilisation et mise en place d'une stratégie par les collectivités

Cerema, Direction territoriale Sud-Ouest

Muriel SAULAIS - muriel.saulais@cerema.fr
Catherine LEONARD - catherine.leonard@cerema.fr

utilité - utilisateurs

La méthodologie proposée par le Cerema vise à établir une **stratégie de désimperméabilisation à l'échelle du territoire d'une collectivité**.

Elle comprend une cartographie du potentiel permettant de cibler des secteurs prioritaires et une proposition de plan d'actions opérationnelles pour aider la collectivité à établir sa politique en la matière.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

- Outil déployé dans les collectivités de Narbonne, Libourne, Toulouse et Angoulême
- Autres propositions d'accompagnement des collectivités en cours de montage



Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

- Méthodologie innovante croisant l'infiltrabilité du sol et l'imperméabilité du territoire
- Méthodologie pouvant aussi s'intéresser à la hiérarchisation des cours d'écoles et places publiques projets
- Méthodologie pouvant être couplée à l'identification des enjeux du territoire
- Outil d'aide à la décision

En savoir plus

- Comment intégrer la désimperméabilisation des sols sur son territoire ? L'exemple du Grand Narbonne
- Un accompagnement de Toulouse Métropole pour identifier le potentiel et les solutions de désimperméabilisation des sols
- À Libourne (Gironde), la nature se met au service de l'adaptation de la ville face au changement climatique
- À Angoulême, la nature se met au service d'une ville apaisée et vivante

Exemple d'aménagement visant à limiter l'imperméabilisation du sol

© Cerema

Favoriser une gestion intégrée de l'eau en ville et dans les infrastructures de transport

Lorsque les villes rassemblent 80 % de la population française, la **gestion de l'eau en milieu urbain** est un enjeu majeur pour les collectivités préoccupées par les questions suivantes :

- **alimenter** en eau et assainir les villes ;
- **gérer** le risque d'inondation (ruissellement et débordement) ;
- **assurer** la gestion patrimoniale des réseaux ;
- **préserver** et valoriser la ressource (cadre de vie qualitatif, intégration de l'eau au milieu urbain, favoriser la réutilisation de l'eau).

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

En cohérence avec les actions menées par le Cerema sur les notions de services écosystémiques, intégration de la nature en ville, renaturation des sols..., l'établissement accompagne les collectivités locales dans leurs démarches en faveur d'une gestion intégrée de l'eau pour l'**aménagement du territoire**.

Les impacts socio-économiques

associés peuvent être importants du fait de demandes sociétales et obligations réglementaires croissantes. Axé sur l'innovation, le Cerema développe des solutions en matière de gestion intégrée de l'eau – un enjeu majeur pour les collectivités qui ont en charge l'aménagement de leurs territoires : gestion des eaux pluviales et assainissement, gestion des réseaux, qualité des milieux aquatiques et prévention des inondations...

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Développement et évaluation de dispositifs innovants de **maîtrise des eaux pluviales** (hydrologie, polluants, biodiversité...) : conduite d'activités de recherche opérationnelle, sites pilotes, démonstrateurs physiques et numériques, planches expérimentales, outils d'aide à la conception, au dimensionnement et à la gestion des eaux pluviales urbaines et provenant d'infrastructures de transport...



© DR

Utiliser l'imagerie satellitaire pour la connaissance des territoires et des milieux

L'**observation satellitaire** est en plein développement et ses applications territoriales sont nombreuses. Grâce à une meilleure résolution et une augmentation de fréquence d'acquisition, il devient possible d'acquérir des informations contextualisées précises, complémentaires aux données de terrain, utiles notamment pour les acteurs de la gestion des territoires, l'adaptation au changement climatique et la gestion de l'eau.

Le **pôle national d'observation satellitaire** du Cerema dispose d'une expertise de plus de dix ans dans le domaine de la télédétection et des applications spatiales, pour les besoins de la gestion des territoires.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

En lien avec des équipes de recherche, le CNES et des entreprises privées, le Cerema a développé des méthodes originales pour :

- cartographier finement l'imperméabilisation des sols à l'appui de stratégies de désimperméabilisation des sols en milieu urbain ;
- caractériser finement la végétation urbaine et évaluer les services écosystémiques associés ;
- diagnostiquer les zones sensibles à l'effet d'îlot de chaleur urbain à partir de l'approche dite des « zones climatiques locales » ;

- cartographier et suivre au cours du temps les emprises inondées et les surfaces en eau ;
- identifier les indices de drainage superficiel en milieu karstique en lien avec la délimitation d'aires d'alimentation de captage d'eau potable.

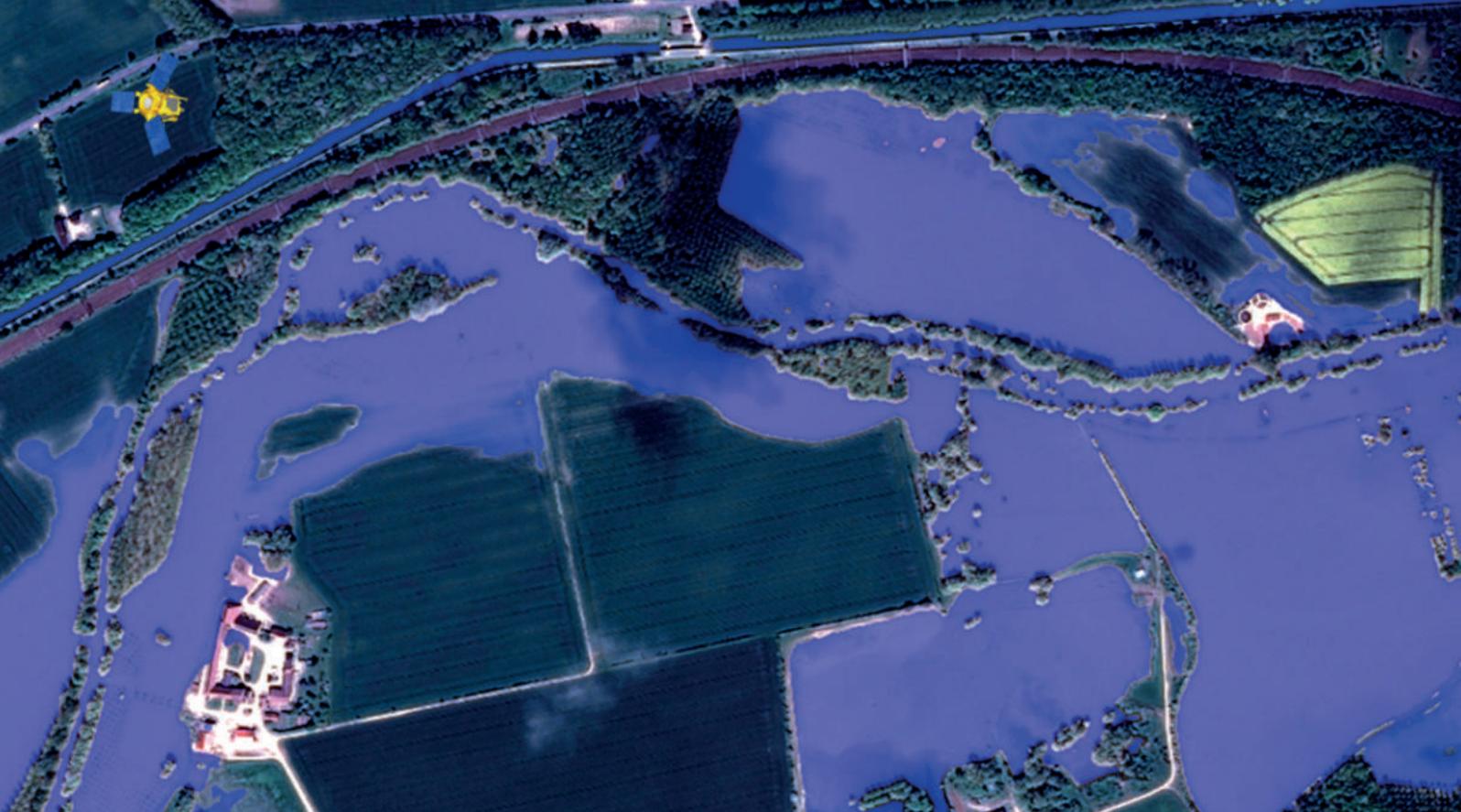
Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Vous vous interrogez sur le potentiel de l'observation satellitaire dans votre domaine d'activité ?

Nous pouvons vous aider à identifier les données et services satellitaires disponibles, leurs caractéristiques et leurs coûts, évaluer la pertinence et les possibilités d'exploitation d'une donnée au regard de vos besoins, et élaborer avec vous des preuves de concept techniques, notamment pour des questions liées à la connaissance et au suivi des territoires.

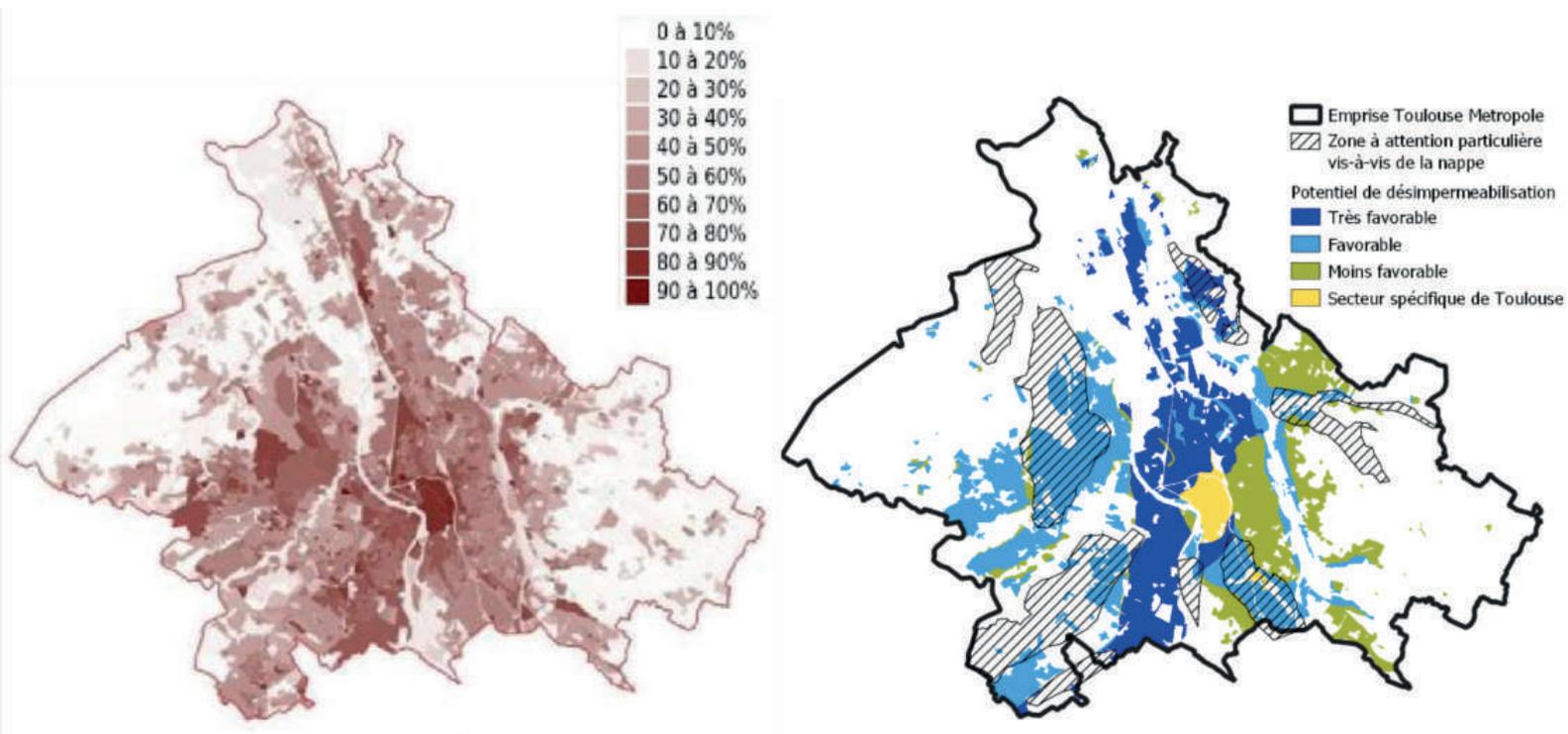
En savoir plus

- Imagerie et données satellitaires
- Un accompagnement de Toulouse Métropole pour identifier le potentiel et les solutions de désimperméabilisation des sols
- Utiliser l'imagerie satellite pour caractériser finement les formes végétalisées : le projet Green urban Sat
- Les images satellite pour cartographier les îlots de chaleur urbains



Plugin Qgis Cart'eau permettant de détecter automatiquement les zones inondées sur des images satellites

© Cerema



Taux d'imperméabilisation (gauche) et potentiel de désimpermeabilisation (droite) sur Toulouse Métropole

© Cerema

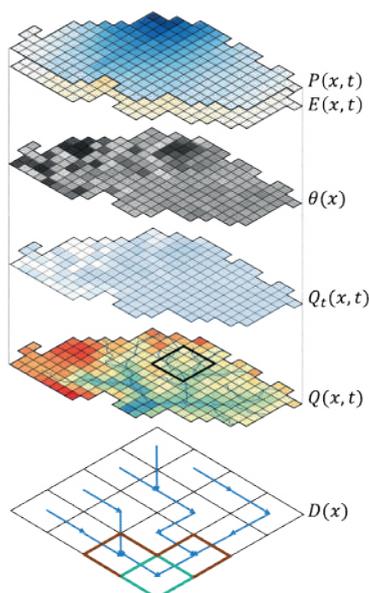
Modélisation numérique pour l'anticipation des crues soudaines

La **plateforme numérique SMASH** (Spatially-distributed Modelling and ASsimilation for Hydrology), en combinant modèles hydrologiques distribués, outils d'assimilation de données multi-sources et algorithmes de calage variationnels, permet d'aborder les défis de l'anticipation des risques de ruissellement et de crues grâce à une approche fines échelles, à l'estimation spatialement distribuée des paramètres et aux possibilités de couplages de modèles hydrologiques et hydrauliques.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

Les travaux menés autour de la plateforme SMASH portent sur la descente d'échelle spatio-temporelle, le modèle hydrologique pouvant être mis en œuvre à pas de temps fin (15 min) et sur des grilles pouvant aller jusqu'à 100 m x 100 m de résolution. Ils concernent

également le développement de structures de modélisation hydrologique flexibles, le couplages hydrologie-hydraulique pour la modélisation d'inondations à hautes résolutions, le développement d'algorithmes de régionalisation et d'assimilation de données ainsi que la mise en œuvre de méthodes hybrides avec apprentissage machine pour pouvoir par exemple corriger les sorties des modèles en prévision ou améliorer la régionalisation.



Principe de la modélisation hydrologique distribuée dans SMASH avec de haut en bas : les forçages météorologiques distribués (pluie P, évapotranspiration E...), les grilles de paramètres et d'états internes du modèle, les grilles de débits modélisés et les débits agrégés à l'exutoire des bassins versants par routage en fonction des directions d'écoulement.

© DR

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Actuellement mise en œuvre en temps réel dans le dispositif national Vigicrues Flash opéré par le Ministère en charge de l'environnement, la modélisation hydrologique de la plateforme SMASH permet d'**anticiper les crues** sur 30 000 km de cours d'eau non jaugés répartis sur 10 000 communes du territoire national. Cette modélisation est également mise en œuvre en temps réel, à l'issue d'un calage mené par le bureau d'études Hydris hydrologie, sur l'île de la Réunion par la DEAL, ainsi que sur les rivières des Alpes-Maritimes par le SMIAGE.

En savoir plus

Jay-Allemand M. (2020) Estimation variationnelle des paramètres d'un modèle hydrologique distribué. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille, INRAE, 225 p.

A vertical sequence of water droplets falling from the top of the frame into a pool of water below. The droplets are in various stages of descent, with some just starting to fall and others having just hit the surface, creating ripples. The background is a soft, out-of-focus gradient of teal and green.

02

Réseaux et infrastructures de collecte et de stockage

Logiciel CANOE : fonctionnement des réseaux d'assainissement

- Simulation du fonctionnement des bassins versants drainés par un réseau d'assainissement séparatif ou unitaire
- Aide au diagnostic permanent des réseaux d'assainissement, études prospectives et scénarisation (effets de l'urbanisation, du changement climatique et de mise en place des ouvrages de gestion à la source sur le fonctionnement du système d'assainissement)
- Pour bureaux d'études, collectivités, aménageurs, architectes

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Logiciel co-développé en étroite collaboration avec un réseau de partenaires (trois grandes collectivités et une entreprise d'ingénierie). Nous souhaitons élargir ce réseau.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

- Simulation et compréhension du fonctionnement hydraulique réel des ouvrages spéciaux présents en réseau d'assainissement (déversoirs d'orage, respect des consignes de régulation)
- Couplage avec SIG intégré
- Nouvelle version couplée à QGIS bientôt disponible
- Possibilités de faire de la scénarisation (quantification des conséquences liées au changement climatique)

En savoir plus

<http://www.canoe-hydro.com>



Conception et évaluation de réseaux d'assainissement
Simulation des pluies, des écoulements et de qualité des eaux



DSM-flux : canal de mesure des débits et concentrations

utilité - utilisateurs

Le Dispositif de Surveillance et de Maîtrise des flux (DSM-flux) est un canal pré-étalonné qui permet de mesurer en continu les débits et les concentrations en polluants. Il est adapté dans le cas de la surveillance des rejets urbains par temps de pluie en sites complexes. Il contribue à protéger les milieux aquatiques.

Pour collectivités, entreprises, en France et à l'international, en charge de la mise en place de l'autosurveillance et du diagnostic permanent en réseau d'assainissement.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

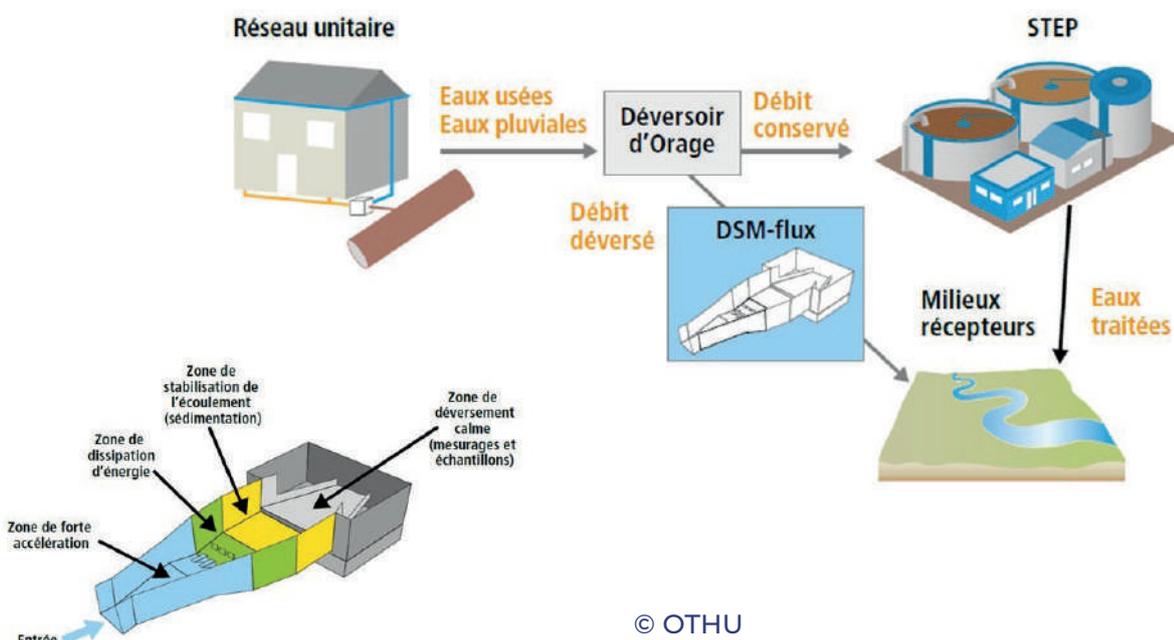
Contrat de licence et collaboration R&D pour déployer plus largement le dispositif.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

- **Mesures fiables** des débits déversés en site complexe à l'aide d'un dispositif compact, pré-étalonné
- **Dispositif validé** par la Métropole de Lyon et installé de façon permanente depuis 2017 sur un de ses sites autosurveillés
- **Plurifonctionnalité** du dispositif garantie (mesure de débits, des concentrations, interception des polluants particuliers)
- **Dispositif breveté** au niveau international
- **Intérêt au niveau international**

En savoir plus

<https://deep.insa-lyon.fr/fr/content/brevets-et-logiciels>



Logiciel URBIS : gestion des eaux pluviales à la source

- Simulation sur des chroniques météorologiques (pluie et évapotranspiration) pluriannuelles du fonctionnement de combinaisons de techniques alternatives de gestion des eaux pluviales à la source, comparaison de scénarios du bâtiment au quartier
- Aide à la validation du dimensionnement
- Pour bureaux d'études, collectivités, aménageurs, architectes

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

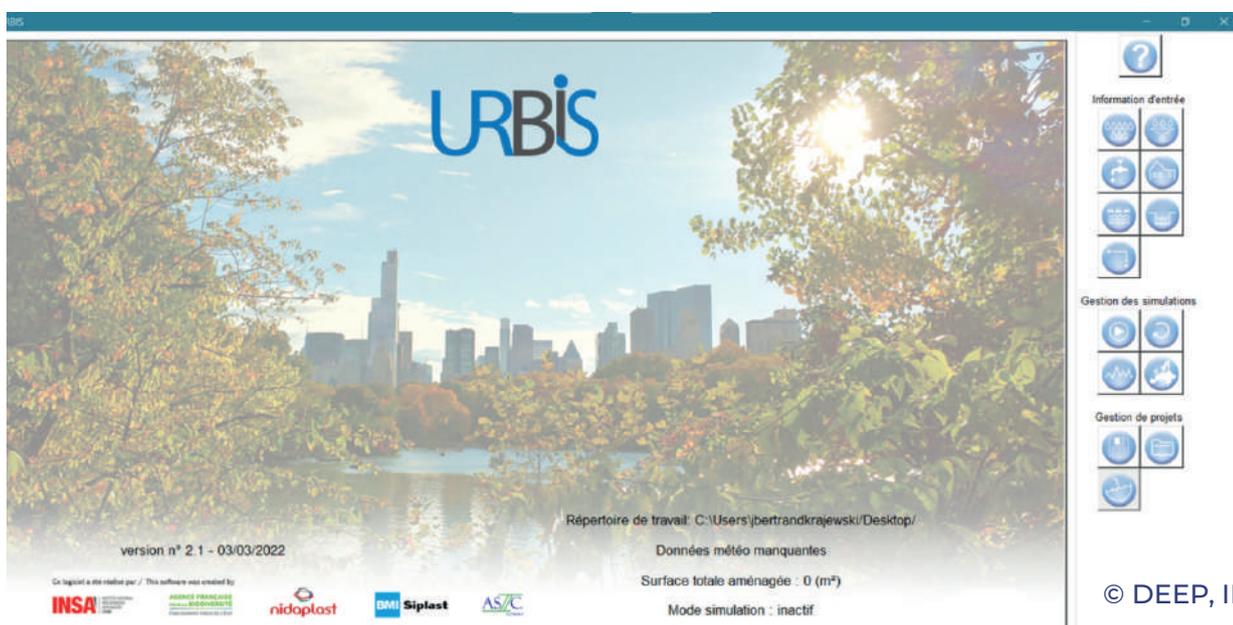
Logiciel en accès libre et gratuit depuis 2020.

Le Carnot Eau & Environnement propose la possibilité de collaborations nouvelles pour l'enrichir avec des techniques spécifiques ou innovantes de gestion des eaux pluviales.

Objectif : en faire un outil de référence français sur le sujet.

En savoir plus

<https://deep.insa-lyon.fr/fr/content/urbis>



Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

- Simulation et compréhension du fonctionnement hydrologique réel des ouvrages de gestion des eaux pluviales, analyse globale sur la période et à l'échelle des événements pluvieux, possibilités de combiner de nombreuses techniques (toits végétalisés, noues, bassins, infiltration, etc.)
- Usage facile grâce à une interface adaptée
- Inclut les modèles les plus récents de la recherche

Modèle Urbain pour l'étude du Risque d'Inondation (MURI)

utilité - utilisateurs

Le Modèle Urbain pour l'étude du Risque d'Inondation (MURI) est une plateforme inclinable selon deux directions, qui permet de simuler des écoulements dans un réseau de rues (modulable, actuellement 3 rues x 3 rues). Elle permet également de simuler des échanges d'eau entre rues (étage supérieur) et réseau d'assainissement (étage inférieur) qui peuvent être connectés verticalement. MURI peut être également équipé d'un simulateur de pluie (en surplomb du réseau de rues). Ce modèle peut être utilisé : (i) pour la compréhension des processus physiques d'inondations en ville ; et (ii) la validation et le calage d'outils de simulations numériques bidimensionnels (2D), tridimensionnels (3D), ou 1D (réseau d'eau usée) - 2D (écoulements en surface) des collectivités, des aménageurs et des bureaux d'étude.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

L'outil permet de mesurer :

- les vitesses de l'eau en surface (outil Fudaa Large-scale PIV développée par Inrae et EDF) ;
- les vitesses à l'intérieur de la colonne d'eau (sondes ADV side-looking) ;
- les hauteurs d'eau (sondes à ultra son) ;
- les débits en entrée ou en sortie de rue et dans le réseau d'assainissement.

Compte tenu de ses multiples degrés de libertés (12 cuves d'alimentation / sortie en surface, pentes longitudinale et transversale modulables, connexion verticale au réseau d'eau usé par des avaloirs), MURI est un outil d'étude des inondations urbaines de premier rang au niveau mondial. Des exemples de résultats expérimentaux comparés à des simulations numériques sont présentés ici :

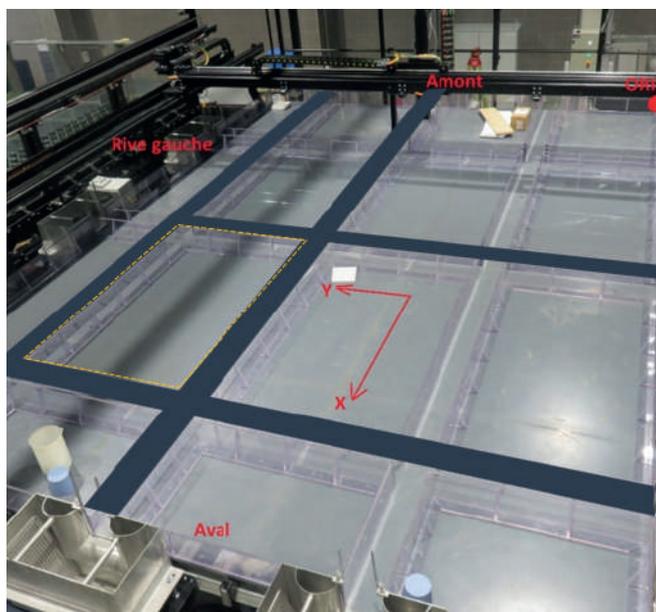
<https://riverhydraulics.inrae.fr/recherche/inondation-en-ville/>

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Il peut être utilisé dans le cadre de **projets partenariaux** avec collectivités territoriales et d'entreprises autour de la modélisation expérimentale des inondations urbaines et des pollutions qu'elles génèrent.

En savoir plus

MURI
Thématiques étudiées



Plateforme ATHYS pour la cartographie des écoulements de surface

utilité - utilisateurs

ATHYS propose un catalogue étendu de **solutions de modélisation pluie-débit** (type de modèles, solveurs numériques pour calibration et assimilation, traitement des données hydrométéorologiques et géographiques). Cette diversité autorise de nombreuses applications dans le domaine de la ressource en eau, de l'aléa inondations, de l'impact du changement global. ATHYS s'adresse à tous les acteurs impliqués dans le diagnostic hydrologique : chercheurs, ingénieurs, étudiants...

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

ATHYS est une **structure évolutive**, diffusée sous licence libre en trois langues (français, anglais, espagnol) et supportée par Linux ou Windows. ATHYS a été appliqué pour évaluer l'aléa inondations et assurer la veille en temps réel dans différentes villes africaines. ATHYS a également été exploité pour différentes études régionales en France et en zone intertropicale.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Le partenariat avec les entreprises peut revêtir différentes formes, pour : i) proposer un service conseils d'appui à la modélisation et à la cartographie des écoulements de surface ; ii) apporter un moteur de calcul dans des solutions informatiques dédiées à des questions environnementales ou sociétales ; iii) dispenser des modules de formation sur les techniques de modélisation des écoulements et les applications associées.

En savoir plus

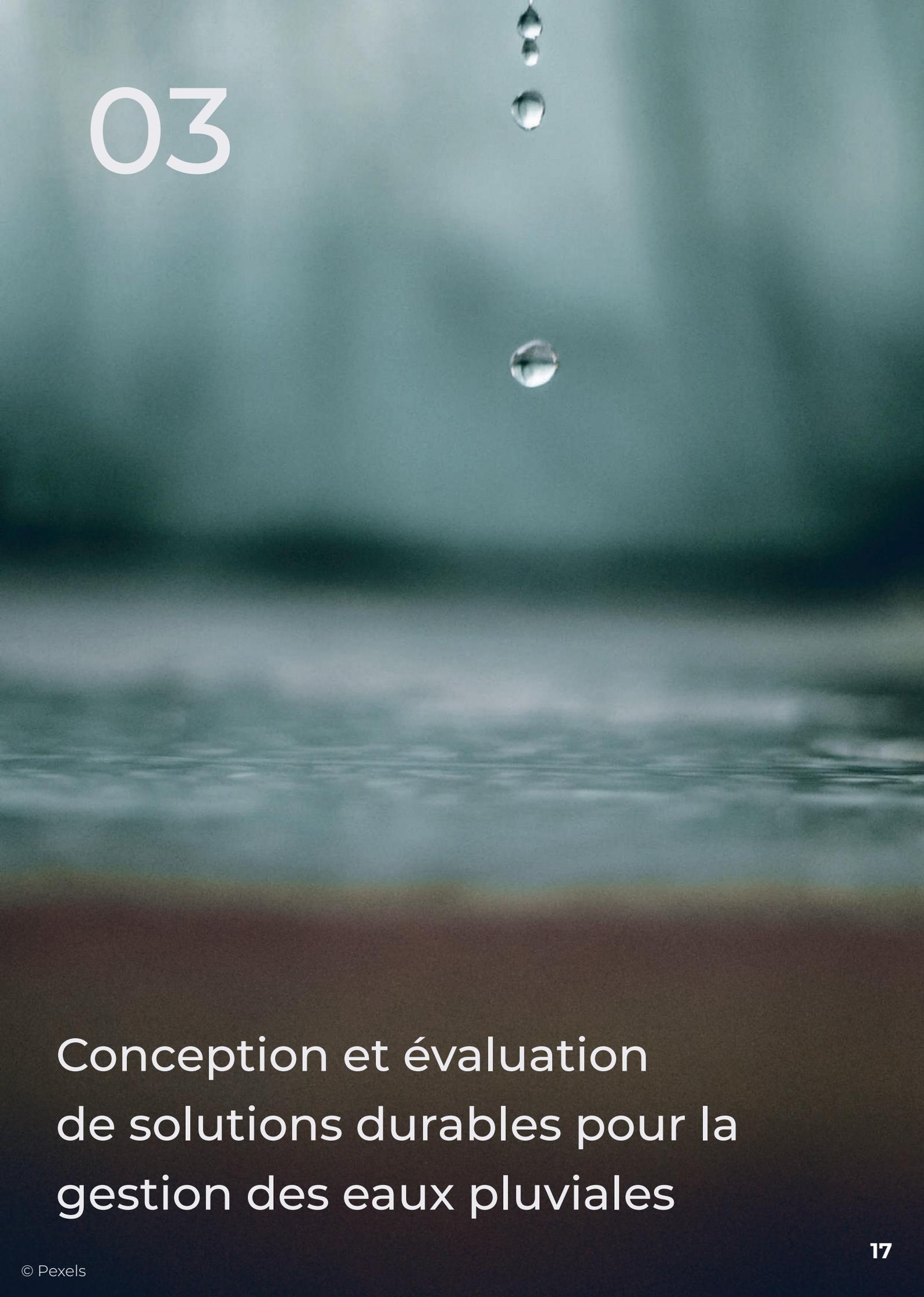
<http://www.athys-soft.org>

Plate-forme ATHYS www.athys-soft.org

logiciel libre pour la mise en œuvre des modèles pluie-débit spatialisés



© DR

A vertical sequence of water droplets falling from the top of the frame into a pool of water below. The droplets are in various stages of descent, with some just starting to fall and others having just hit the surface, creating ripples. The background is a soft, out-of-focus gradient of teal and green.

03

Conception et évaluation de solutions durables pour la gestion des eaux pluviales

Évaluation des performances de solutions pour la gestion intégrée des eaux pluviales urbaines

Les solutions de gestion intégrée des eaux pluviales urbaines se développent avec des conceptions très variées, dans des contextes hydroclimatiques divers, et visent des performances multiples (hydriques, climatiques, traitement...). Les compétences du Cerema dans le domaine de l'observation et de la modélisation numérique permettent à un fabricant d'évaluer et optimiser sa solution, à un bureau d'étude de mieux concevoir et dimensionner, et à un maître d'ouvrage d'estimer les performances in situ de solutions.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Les protocoles expérimentaux, les modèles numériques utilisés sont définis avec le(s) partenaire(s) et déclinés pour chaque solution à évaluer. Le Cerema assure le suivi expérimental, produit un rapport final d'évaluation détaillé, et met à disposition les mesures analysées et/ou les modèles développés.



Équipe de recherche TEAM
(Transferts et interactions liés à l'eau en milieu construit)
Cerema, Directions territoriales Île-de-France et Est
Emmanuel BERTHIER - emmanuel.berthier@cerema.fr

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

Les moyens mis en œuvre tirent parti des dernières connaissances et méthodes scientifiques sur l'évaluation des performances grâce à deux types d'outils : des mesures fiables et robustes, et/ou des modèles numériques validés.

En savoir plus

Trois plateformes du Cerema permettant l'évaluation de solutions :

- L'expertise en chimie analytique au service de l'environnement et des matériaux du génie civil
- Plateforme de caractérisation des propriétés physiques et des performances écologiques des toitures végétalisées
- Plateforme d'évaluation des phénomènes climatiques du milieu urbain

Deux exemples de prestations :

- Évaluation d'une toiture végétalisée à zéro rejet, avec la société Siplast et l'agence de l'eau Loire-Bretagne
- Projet Life Adsorb, tester une solution pour réduire les charges de polluants des eaux pluviales via des filtres plantés de roseaux

Évaluation d'un filtre planté de roseaux pour traiter les eaux pluviales
© Ville de Paris

Analyse coûts et bénéfiques des techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales

Unité mixte de recherche GESTE
Gestion Territoriale pour l'eau et l'Environnement -
INRAE-ENGEES Strasbourg

ETTIS
Environnement - Territoires en Transition - Infrastructures - Sociétés -
INRAE Bordeaux

GESTE : Caty WEREY - caty.werey@inrae.fr
ETTIS : Bénédicte RULLEAU - benedicte.rulleau@inrae.fr

utilité - utilisateurs

La méthode utilisée permet de comparer les avantages et les coûts pour la « société » (collectivités et usagers), dans une Analyse Coûts Bénéfices (ACB), de différentes options d'aménagement intégrant des solutions alternatives avec une situation de référence, la solution traditionnelle tout tuyau, afin d'en déterminer la rentabilité et de rationaliser / optimiser les choix budgétaires. Cette méthodologie est à destination des collectivités.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

La méthode a été testée sur trois écoquartiers de l'Eurométropole de Strasbourg. Elle peut être reconduite sur d'autres territoires en recherchant de nouveaux questionnements scientifiques en lien avec nos travaux de recherche et avec les besoins et les pratiques des collectivités.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

La méthode prend en compte les coûts et les bénéfices internes pour les services de l'eau en utilisant des données de comptabilité analytique ou en analysant les temps de main d'œuvre et de machines affectées à l'entretien en multiservices (GESTE Strasbourg) et les coûts et bénéfices externes (i.e. pour les usagers) (ETTIS Bordeaux) à partir d'une approche d'évaluation monétaire s'appuyant sur une enquête auprès des habitants. Ceci permet de tenir compte de l'aspect multifonctionnel des dispositifs. Ces deux méthodes peuvent aussi être utilisées de façon autonome.

En savoir plus

Journée de restitution du projet GIEMU
19/11/2019

<https://www.fnccr.asso.fr/agenda/journee-de-restitution-du-projet-giemu/>



Solutions fondées sur la nature pour le traitement des eaux urbaines en vue de la réutilisation

- **Production** de connaissances clés pour les constructeurs, aménageurs et les bureaux d'études, pour la conception et la mise en œuvre de solutions fondées sur la nature innovante de réutilisation des eaux urbaines
- **Détermination** des critères économiques, environnementaux et de services écosystémiques nécessaires à la décision dans le choix des technologies à mettre en œuvre
- **Démonstration** de l'efficacité et des limites de différentes technologies pour le traitement et la réutilisation des eaux pluviales, de ruissellement, des surverses de déversoirs d'orage ou des eaux usées domestiques

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

Les **technologies développées** (à l'échelle de démonstrateurs) innovent par une intensification des procédés de manière à gagner en compacité ainsi que sur la partie traitement (traitement à la demande, pathogènes, micro-polluants) pour une meilleure application en milieu urbain.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Ces connaissances sont produites dans le cadre des **projets européens** MULTISOURCE (2021-2024) et NICE (2021-2024) et du projet national TONIC (Agence de l'eau RMC, AG et OFB 2020-2024). Pendant ces projets, le Carnot Eau & Environnement recherche des collectivités, des aménageurs, intéressés pour reproduire des traitements décentralisés en conditions réelles.

En savoir plus

[Multisource](#) / [NICE](#) / [TONIC](#)



Logiciels pour mieux concevoir la gestion des eaux pluviales urbaines

Équipe de recherche TEAM
(Transferts et interactions liés à l'eau en milieu construit)
Cerema, Directions territoriales Île-de-France et Est

Jérémie SAGE - jeremie.sage@cerema.fr

utilité - utilisateurs

Les logiciels développés permettent d'anticiper les performances hydriques, climatiques, de traitement, pour des dispositifs de gestion à la source des eaux pluviales urbaines, en fonction de leurs caractéristiques techniques (dimensions, conception) et de leur contexte de mise en œuvre (climat, sol...).

Ces outils sont destinés à des entreprises développant des solutions innovantes et souhaitant optimiser l'efficacité de leurs produits pour en faciliter le déploiement. Ils constituent aussi des aides à la conception et au dimensionnement, utiles pour des bureaux d'étude et des maîtres d'ouvrages. Ces logiciels ont aussi vocation à promouvoir l'utilisation d'une solution en qualifiant ses performances.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

La démarche vise à rendre facilement accessible des résultats issus de modélisations numériques détaillant le fonctionnement hydro-climatique des dispositifs d'intérêt.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Les partenariats visent à i) affiner la compréhension des comportements des solutions via des outils de modélisation dédiés (en s'appuyant si besoin sur le suivi de dispositifs pilotes) et ii) développer les logiciels d'aide à la conception.

En savoir plus

Applications en accès public développées par l'équipe :

- Faveur, un outil de dimensionnement des toitures végétalisées extensives
- Oasis, un logiciel pour concevoir des systèmes d'infiltration des pluies courantes

Page internet du logiciel Oasis permettant de concevoir des systèmes à la source d'infiltration des pluies courantes

© Cerema

Plateforme de caractérisation des propriétés physiques et des performances des toitures végétalisées

Le Cerema dispose de deux **plateformes expérimentales** de toitures végétalisées grande nature. Elles permettent le suivi de leurs caractéristiques physiques, de leurs performances et leur évolution au cours du temps vis-à-vis de la gestion des eaux pluviales, de la régulation des transferts thermiques à l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, de la fixation et du stockage de polluants, ou encore de la fonction de support de biodiversité.

En savoir plus

Plateforme de caractérisation des propriétés physiques et des performances écologiques des toitures végétalisées



Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

La plateforme permet le **développement de connaissances** pour caractériser les toitures végétalisées en s'appuyant sur le recensement des observations in situ.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

L'équipe scientifique et technique peut intervenir selon plusieurs postures :

- **coordination** et participation à des projets de recherche à haute valeur ajoutée ;
- **accompagnement** des acteurs territoriaux et industriels pour la conception de toitures ;
- **mise à disposition** de données recueillies sur les plateformes expérimentales pour des analyses ou benchmark ;
- **formation** (conception, rôle des toitures végétalisées dans l'écosystème du milieu urbain, etc.).

Illustrations des toitures végétalisées expérimentales sur les sites de Trappes (à droite) et Nancy (à gauche)

© Cerema

Plateforme expérimentale GROOF pour toitures végétalisées

Laboratoire DEEP
(Déchets, Eaux, Environnement, Pollutions) -
INSA Lyon

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI
jean-luc.bertrand-krajewski@insa-lyon.fr

utilité - utilisateurs

La **plateforme expérimentale** GROOF est **pré-équipée** de nombreux capteurs (météo, débits, évapotranspiration, etc.) pour évaluer et comparer les performances hydrologiques de toitures végétalisées utilisées pour la gestion des eaux pluviales.

Pour fournisseurs / constructeurs de toitures végétalisées, bureaux d'études, collectivités, etc.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Le Carnot Eau & Environnement propose un accès à GROOF pour évaluer ou développer des **toitures végétalisées**.

En savoir plus

Vidéo de présentation de GROOF

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

GROOF est pré-équipée et instrumentée pour accueillir jusqu'à six pilotes de toitures végétalisées de surface 3 m x 3 m, et suivre leur fonctionnement hydrologique (rétention, évapotranspiration, évacuation), individuellement ou comparativement, sur une durée de quelques mois à une année ou plus selon les besoins. Elle permet de tester de nouvelles conceptions, configurations ou variantes (substrats, stockages, espèces végétales), ou de nouvelles modalités de fonctionnement (irrigation), et de fournir des données fiables et indépendantes sur leurs performances.



© DEEP, INSA Lyon

Évaluation de l'évapotranspiration issue de surfaces urbaines végétalisées

Équipe de recherche TEAM
(Transferts et interactions liés à l'eau en milieu construit)
Cerema, Directions territoriales Île-de-France et Est

David RAMIER - david.ramier@cerema.fr

utilité - utilisateurs

- L'évaluation de l'évapotranspiration sur des surfaces urbaines végétalisées est nécessaire pour quantifier l'abattement des pluies, estimer le rafraîchissement local, assurer la pérennité des végétaux, voire définir une stratégie d'irrigation.
- Les **méthodes de mesure** et les modèles disponibles dans l'équipe TEAM permettent aux fabricants de solutions (jardin, parkings, toitures...), aux bureaux d'études techniques et aux maîtres d'ouvrage d'évaluer la capacité à évapotranspirer d'un espace végétalisé urbain.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

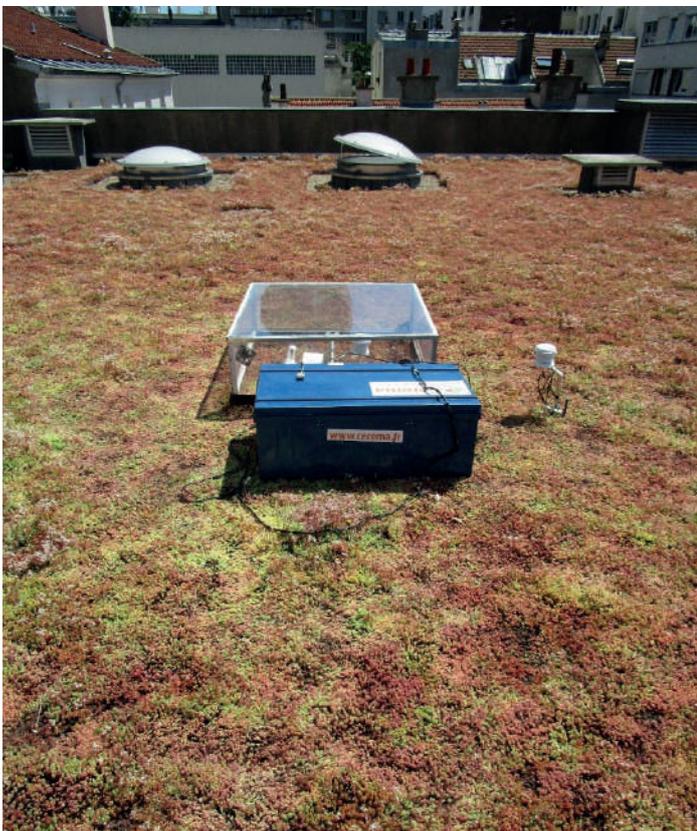
Les techniques de mesures disponibles (lysimètre, chambre à évapotranspiration, eddy-covariance) peuvent être utilisées à différentes échelles spatiales. Les modèles développés intègrent les dernières connaissances sur le comportement hydroclimatique des surfaces urbaines.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Des campagnes de mesures peuvent être réalisées pour les collectivités qui souhaiteraient avoir des valeurs d'évapotranspiration de leurs surfaces végétalisées. Des protocoles de test peuvent également être mis en place pour les entreprises qui souhaiteraient développer et tester des solutions innovantes. Des modèles numériques peuvent aussi être déclinés pour chaque solution afin de mieux comprendre le fonctionnement des solutions, et pouvoir extrapoler ces fonctionnements (autre site, autre climat...).

En savoir plus

- Mesures sur de petites surfaces végétalisées urbaines
- Comment favoriser l'évapotranspiration sur le futur village olympique à Paris en 2024 ?



La chambre développée par le Cerema pour mesurer l'évapotranspiration, appliquée ici aux toitures végétalisées

© David Ramier / Cerema

Ouvrages végétalisés : performances et phytoremédiation

Rôle de la végétation dans les transferts d'eau et de polluants par les ouvrages de gestion des eaux pluviales.



Test de phytoremédiation en laboratoire

© Cerema

Équipe de recherche TEAM
(Transferts et interactions liés à l'eau en milieu construit)
Cerema, Directions territoriales Île-de-France et Est

Ivana DURICKOVIC - ivana.durickovic@cerema.fr

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

L'équipe TEAM étudie les **processus bio-physico-chimiques** régissant les transferts hydriques, thermiques et de polluants dans les ouvrages végétalisés de gestion des eaux et, particulièrement, le rôle de la végétation dans ces transferts et les services écosystémiques rendus (phytoremédiation, rafraîchissement de l'air ambiant).

Avantages :

- **évaluation des performances** des ouvrages existants (instrumentation, analyses), propositions d'amélioration (modèles / essais, développement solutions innovantes) ;
- **approche systémique** des ouvrages combinant des méthodologies pluridisciplinaires (hydrologie, physico-chimie, écologie, micro-climatologie).

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Les partenariats sont variés :

- **prestation** (évaluation ponctuelle, cartographie de vulnérabilité, (re)définition de palettes végétales) ;
- **co-développement ou recherche collaborative** (prototypes de solutions ad hoc, optimisation de modèles).

Projet SysGEP : mise en œuvre de l'approche de dynamique des systèmes en aide aux choix stratégiques et de gestion des ouvrages d'eaux pluviales

L'approche systémique proposée est une **démarche de recherche-action** visant à aider les collectivités à définir leur **stratégie de gestion des eaux pluviales**.

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Développement prévu en **partenariat** avec des collectivités, lors d'accompagnement de leur stratégie de gestion des eaux pluviales (TRL 4-5).



Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

La modélisation dynamique des systèmes permet d'appréhender la complexité par l'analyse globale des relations entre les différents éléments du système. Appliquée à la gestion des eaux pluviales, cette approche permet d'intégrer des connaissances de diverses natures (terrain, résultats de modèles déterministes, expertise de gestionnaires), d'identifier des effets de rétroaction et d'impliquer les nombreux acteurs concernés (services eau-assainissement, gestion des milieux aquatiques, voirie, entretien des espaces verts...).

Cela peut ainsi aider les collectivités à choisir le système le plus efficace à long terme ou à optimiser les opérations d'entretien et de maintenance de leur système actuel.

En savoir plus

Apport de la modélisation dynamique des systèmes pour l'évaluation de scénarios d'entretien des techniques alternatives

Noüe d'infiltration – Écoquartier
des 3 Fées de Cébazat (63)

© Cerema

Méthode d'évaluation des services écosystémiques des aménagements durables de gestion des eaux pluviales

Cerema,
Directions territoriales Sud-Ouest, Est et Île-de-France

Muriel SAULAIS - muriel.saulais@cerema.fr

utilité - utilisateurs

L'outil est composé de matrices rassemblant aménagements de gestion des eaux pluviales et indicateurs pour évaluer les services écosystémiques. Il s'agit de valoriser les solutions durables de gestion des eaux pluviales et d'inciter les collectivités et aménageurs à déployer ces aménagements.

Originalités / avancées scientifiques ou technologiques

Outil innovant abordant la notion de services écosystémiques des aménagements de gestion des eaux pluviales (services de régulation, services culturels)

Poursuite actuelle vers le développement d'un outil d'aide à la décision permettant d'orienter le choix des solutions durables de gestion des eaux pluviales en fonction des bénéfices souhaités

Offre de partenariat avec les entreprises ou les collectivités territoriales

Déploiement de l'outil d'évaluation des bénéfices écosystémiques sur Toulouse Métropole et la Rochelle

En savoir plus

Fiches sur la gestion intégrée de l'eau en milieu urbain.



La recherche pour l'innovation avec les acteurs et les usagers de l'eau

Le Carnot Eau & Environnement rassemble 11 unités de recherche (CNRS, INRAE, IRD, INSA, Aix-Marseille Université, Université de Montpellier, Université Savoie Mont-Blanc), et l'Institut de la Filtration et des Techniques Séparatives (IFTS) organisés **pour répondre aux besoins de recherche et d'innovation des partenaires socio-économiques du secteur de l'eau et des secteurs usagers de l'eau. 470 Etp** avec des expertises fortes en sciences de la Terre et de l'environnement, en sciences humaines et sociales, technologies appliquées à la gestion de l'eau et des écosystèmes aquatiques sont mobilisés. Déjà plus de **90 partenaires socio-économiques**, grandes entreprises mais également PME et TPE, collectivités territoriales font appel aux compétences et aux ressources du Carnot Eau & Environnement.

Les recherches portent sur quatre domaines d'activités stratégiques :

- Surveillance de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques
- Optimisation des infrastructures hydrauliques : STEP, Réseaux, Solutions Fondées sur la Nature (SFN)...
- Constitution de nouvelles ressources
- Gestion des risques naturels

Avec en visée la **gestion intégrée de la ressource**, les chercheurs développent en collaboration avec leurs partenaires socio-économiques des modèles et des outils numériques, des outils d'aide à la concertation et à la décision, des dispositifs métrologiques, des solutions fondées sur la nature.

Ces solutions sont notamment appliquées à la **gestion des eaux pluviales, la détection et le traitement des micropolluants, la réutilisation des eaux usées, la valorisation des ressources de l'eau, l'empreinte eau...**

Les unités sont en capacité de conduire des travaux depuis la définition puis la preuve de concept, la réalisation de prototypes ou d'expérimentations à des échelles technologiques ou géographiques représentatives jusqu'à des échelles réelles.

Contact :

carnot-eauetenvironnement@inrae.fr

<https://carnot-eau-environnement.fr/>

Rejoignez-nous sur [LinkedIn](#)



L'excellence scientifique du Cerema au service de l'économie française et de son adaptation aux effets du changement climatique

En pointe en matière de recherche, le **Cerema** est labellisé institut Carnot depuis 2020, avec le projet **Clim'adapt**.

L'institut Carnot du Cerema, Clim'adapt, aide les entreprises et les collectivités territoriales à relever le défi climatique et à opérer leur transition vers une économie sobre en ressources, décarbonée et respectueuse de l'environnement.

À travers des prestations de recherche contractuelle bilatérale, le Cerema met au service de ces acteurs de la vie économique l'excellence scientifique de ses chercheurs et experts, dans les six domaines d'activité de l'établissement : Expertise et ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement et risques, Mer et littoral.



Ces expertises, multidisciplinaires et complémentaires, confèrent à Clim'adapt la capacité à développer des solutions d'adaptation au changement climatique en intégrant la dimension systémique du sujet et donc les effets induits.

C'est la première fois que le label institut Carnot est attribué à un projet qui concerne l'adaptation au changement climatique.

[Comprendre en vidéo et en moins de 2 min l'activité de Clim'adapt, l'institut Carnot du Cerema.](#)

Contact : climadapt@cerema.fr

<https://www.cerema.fr/fr/innovation-recherche/institut-carnot-clim-adapt>



Rejoignez-nous sur [Twitter](#) / [LinkedIn](#)

Le savez-vous ?

Les Carnot, comme Clim'adapt et Eau & Environnement, sont des structures de recherche publique, labellisées par le ministère en charge de la recherche, qui prennent des engagements forts pour mener et développer une activité de recherche partenariale au bénéfice de l'innovation des entreprises – de la PME au grand groupe – et des acteurs socioéconomiques. L'ANR est chargée de la gestion du dispositif Carnot.

<https://www.instituts-carnot.eu/fr/le-label-carnot>

