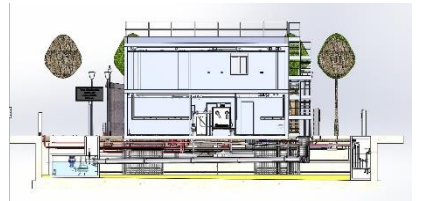


# Sense-City Newsletter

## Nov 2024





**Table des matières**

1	Industrial/start-up collaborations @Sense-city .....	3
1.1	Kumulus Water– Atmospheric Water Generator performance to be assessed .....	3
1.2	Kumuluswater – CIFRE Thesis funded on water quality optimisation .....	3
1.3	Urban Canopée – Umbrella plant cooling performance evaluated .....	3
1.4	Benchmarking of microclimate simulation solutions – service in the context of a CIFRE Thesis (CEREMA/CSTB/INGEROP).....	3
1.5	Experimentation for Saint Gobain Research dept concluded .....	4
1.6	Experimentation for Resalliance concluded.....	4
1.7	Stormwater trees for sustainable urban runoff management - CIFRE Thesis (LEESU/hydrasol) .....	4
1.8	Hydrologic performances of rain gardens – from in-situ monitoring to modelling for a variety of contexts and designs - Thesis (LEESU/Cerema, OPUR project).....	5
2	Collaborative projects @Sense-city.....	5
	.....	5
2.1	Stormwater NBS for resilient cities (DUT project GreenStorm - started in 2024) .....	5
2.2	CAYD (Charge As you Drive) .....	6
2.3	ResbioBat.....	6
2.4	DuReTerre.....	6
2.5	SenseCo .....	7
2.6	METAWATER project @Sense-City.....	7
2.7	Weathersafe project @Sense-City .....	7
2.8	PN ISSU .....	8
2.9	Cool Street.....	8
2.10	Streets .....	9
3	2023-2024 Student projects and internships @Sense-City.....	10
3.1	Lemon trees and bio-impedance sensors @Sense-City with ESIEE Students .....	10
3.2	Developpement of a methodology for urban cooling solution evaluations@Sense-City with ENPC students.....	10
3.3	Performance evaluation of autonomous vehicle perception systems in adverse weather conditions @Sense-City with ENPC students .....	10
4	2024-205 projects and internships @Sense-City .....	11
4.1	Projet de fin d'études d'Ingénieur proposé dans le cadre du PN ISSU/WP1/Bibliographie des SFN (à pourvoir).....	11
4.2	Simulations d'un cas de surchauffe urbaine et étude d'impact.....	13
4.3	Etude aérodynamique de projectiles sportifs : le javelot .....	15

## 1 Industrial/start-up collaborations @Sense-city



1.1 Kumulus Water– Atmospheric Water Generator performance to be assessed experimentation with different levels of temperature and hygrometry in Sense-city will show how much water can be produced with a set of typical and controlled climate conditions with the latest prototype engineered by Kumulus Water.



1.2 Kumuluswater – CIFRE Thesis funded on water quality optimisation

The collaboration with Kumulus Water teams led to discussions about the quality of the water produced in certain climatic conditions. A CIFRE thesis project was drafted and finally funded by ANRT. Under the supervision of Dr Bérengère Lebental, Thomas MERLET from Kumulus has started from August 2024 his thesis on “Optimising the quality of drinking water produced by active condensation of atmospheric humidity: measuring, modelling and mitigating the impact of air pollution”. OK



1.3 Urban Canopée – Umbrella plant cooling performance evaluated



Cooling performance of NBS solutions designed by Urban Canopée (umbrella plants) have been evaluated using Sense-City climate simulator. Different heat wave scenarios have been reproduced through the simulator covering a realistic urban environment with or without these solutions. The impact on microclimate of the solutions has been measured and assessed through comfort indicators (UTCI). The methodology used has been developed for the specific needs of this evaluation project.



1.4 Benchmarking of microclimate simulation solutions – service in the context of a CIFRE Thesis (CEREMA/CSTB/INGEROP)

The data from hot climatic events recorded in the canyon street of Sense-City last summer has been processed, enabling evaluation of different software simulation solutions. The canyon street, which can be considered as a unit of reference for an urban heat island, has been instrumented with numerous climatic sensors.





### 1.5 Experimentation for Saint Gobain Research dept concluded



The canyon street of Sense-City has been adapted for an experimentation for Saint Gobain research. The impact of the different colors of coating on air temperature, surface temperature, thermal stress (with black globe) and thermal confort has been analyzed in the climate chamber and in open air conditions.



### 1.6 Experimentation for Resalliance concluded

The efficiency of a simple passive cooling solution (shading) has been evaluated with micro-climatic measurements using the Sense-City climate simulator. The methodology has been co-developed with Resalliance in the framework of a collaborative project.



### 1.7 Stormwater trees for sustainable urban runoff management - CIFRE Thesis (LEESU/hydrasol)



The stormwater trees zone in the mini-city 2 of Sense-City was designed to study the sustainable management of stormwater. 3 maples (*Acer platanoide Globosum*) have been planted on each side of the “canyon” street of Sense-City. One side receives road runoff and has been equipped with different sensors to measure incoming and outgoing flows as well as soil water storage. The tree sap flow of each tree is measured by a heat dissipation sensor. In addition, meteorological parameters monitored at 8

meters height (Vaisala), are used to assess potential evapotranspiration. Data acquired over the 2021 – 2023 period are under final process.





### 1.8 Hydrologic performances of rain gardens – from in-situ monitoring to modelling for a variety of contexts and designs - Thesis (LEESU/Cerema, OPUK project)

The rain garden is a cylindrical-shaped bioretention system with layers of vegetated surface, filter substrate, transition, drainage, and gravel storage (connected to the native soil) from top to bottom. It receives stormwater runoff from the same asphalt road catchment as the trees. The two devices also share meteorological data. With fully equipped sensors, the rain garden can monitor influent, effluent, internal water level change, as well as the media moisture at different locations and depths. The aim of the thesis is to utilize both monitoring and modeling tools to better understand the hydrological performance of the rain garden and improve their design. Data acquisition has been completed from 2021 to 2023 and modelling work is ongoing.

acquisition has been completed from 2021 to 2023 and modelling work is ongoing.



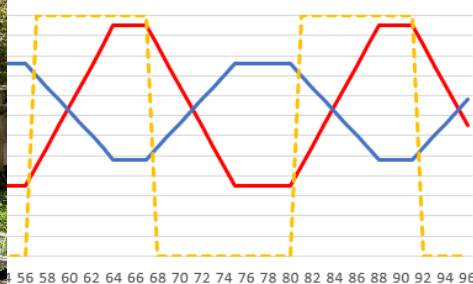
## 2 Collaborative projects @Sense-city

### 2.1 Stormwater NBS for resilient cities (DUT project GreenStorm - started in 2024)

This new European project coordinated by Leesu, ENPC was granted on the Driving Urban Transitions to a sustainable future initiative. WP1 which consists in development of scenarios of future climate extremes and WP2 on NBS monitoring and modeling have started. Sense-City team has contributed by simulating hot climate conditions corresponding to 2050 prospective on different Nature Based Solutions (rain garden and tree) in terms of hydrologic, thermic but also physiologic response. The available built-in functional capabilities were augmented with an additional lightening system to reach substantial improvement of lighting conditions.



canicule extrême





## 2.2 CAYD (Charge As you Drive)

This project funded by BPI and coordinated by Vinci is aiming to demonstrate in real circulated roads two innovative dynamic charging systems for future electric trucks, thus enabling potentially a drastic reduction of battery size and carbon footprint of this type of transportation. .



*The two technologies to be integrated in A 10 close to Longvilliers, ground conductive (left view) and inductive (right view)*

The experimentations will take place close to Long Villiers on A10 with 1,5 km portions of e-road demonstrators. Roadwork will start from 2025. Sense-City team will coordinate the task 4.7 performance evaluation of inductive and ground conductive solutions and perform in-situ characterizations and evaluations, regarding in particular electromagnetic emissions and energy performance aspects, in collaboration with LEOST/COSYS laboratory from UGE.



## 2.3 ResbioBat

This ANR project coordinated by UGE started in 2021 is focusing its activities in characterization and evaluation of comfort and thermal performance in Sense-City 's raw earth demonstrator. Data acquisition has been completed and modelling work is ongoing.



## 2.4 DuReTerre

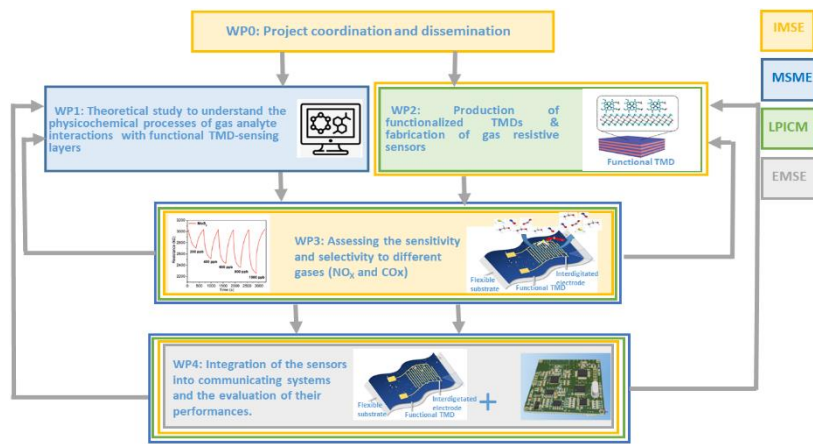


ANR national project started in 2023 is coordinated by UGE and currently focusses on durability, reparability and new ins-situ characterization of constructive structures in raw earth localized in Sense City. New formulations of plaster resistant to rain will be tested. Ageing in real condition of such typical construction samples is currently observed at Sense-City in collaboration with ministry of Culture.





2.5 SenseCo



The new ANR Project Sens Co coordinated by UGE will start in 2024. It aims at developing Wearable Gas SENSors based on functionalized transition metal dichalcogenide nanosheets for the detection of NOx and CO. It will use the Sense-City platform in the validation phases in a representative urban environment.

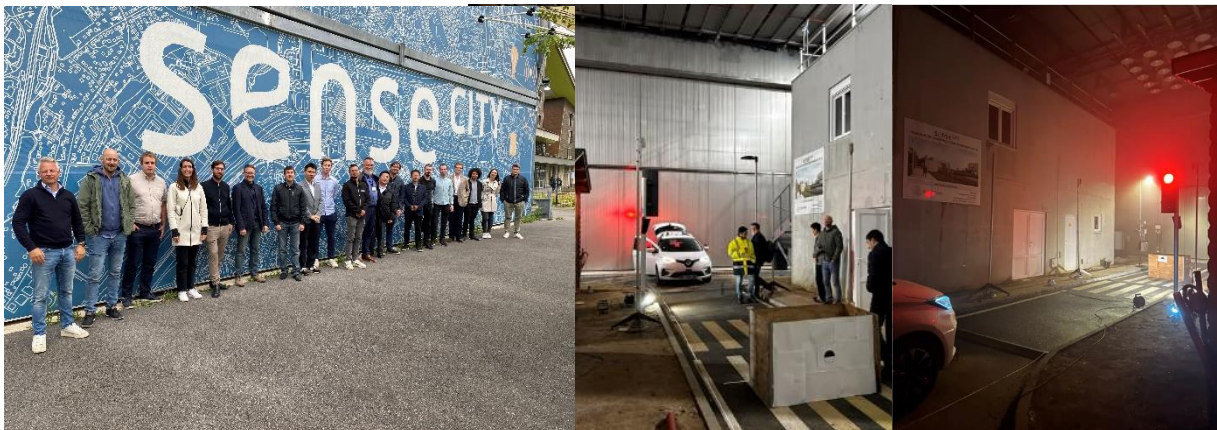
2.6 METAWATER project @Sense-City



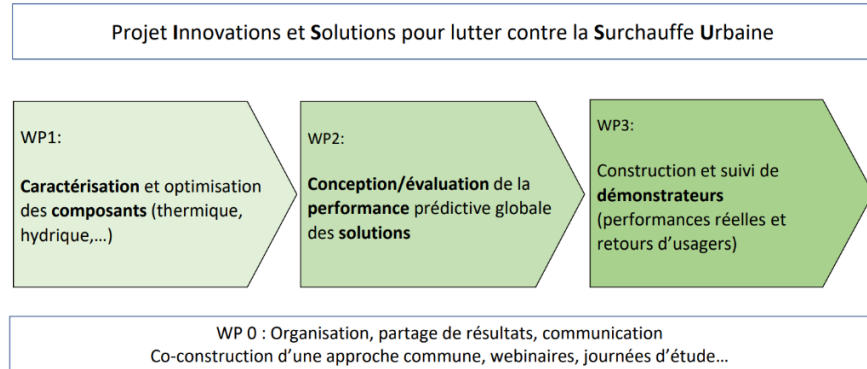
In the context of global warming and decrease of pure water resources, there is an urgent need to find new water sources. Passive condensation of atmospheric water vapor (dew) by radiative cooling is the solution that considered in ANR [META-WATER project](#). The evaluation of the performance of different condensers prototypes and their ageing in real conditions is currently under study at Sense-City.

2.7 Weathersafe project @Sense-City

The [Weathersafe](#) consortium on adverse driving weather conditions led by UTAC involving european vehicle OEMs and academic centers gathered on Sept 10-11-12 at UGE for its 3<sup>rd</sup> workshop. Demos were proposed by UGE team showing the impact of simulated weather conditions like rain and fog on the performance of perception sensors. For this purpose, a prototype Zoe operated by UGE and equipped with different sensors (camera, radar and lidar ) was used. Resolution losses, artefacts were observed with the different sensors, pointing the need for adapted evaluation protocols in the framework of a future EuroNcap technical frame of reference.

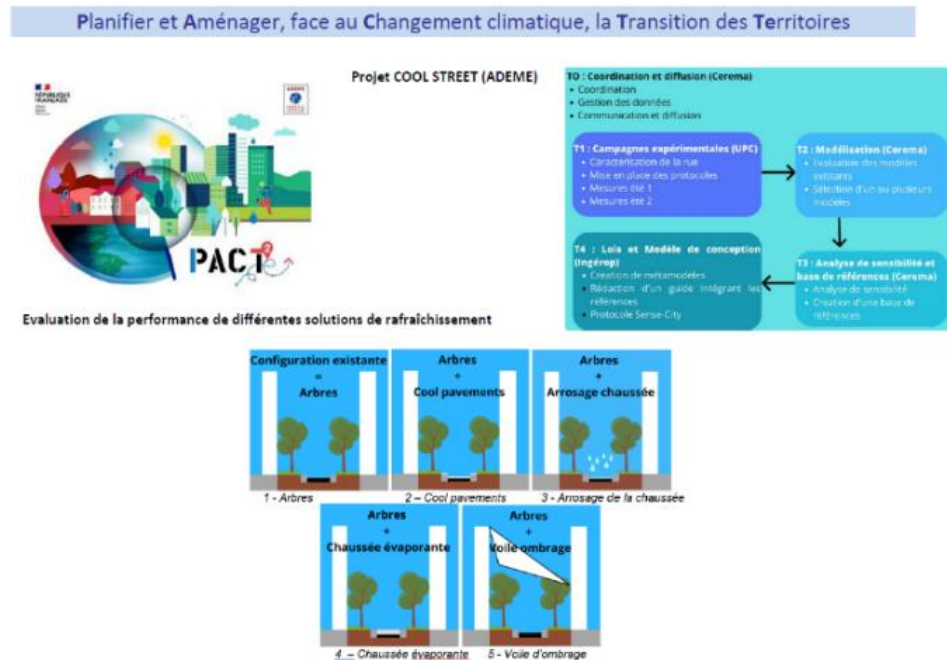


The Tranche 1 of the National Project ISSU (Innovations & Solutions contre la Surchauffe Urbaine) has been accepted. Sense-city is contributing to the WP 1, in particular to task 1.1.2 Bibliography of green and blue solutions (see internship offer [below](#)).



## 2.9 Cool Street

The Cool Street project coordinated by CEREPa aims at evaluating the performance of different cooling solutions in representative environments. It has been accepted by ADEME and is in the start-up phase. Trials are planned in Sense-City in 2025 on different families of cooling solutions to be evaluated in the Canyon Street.

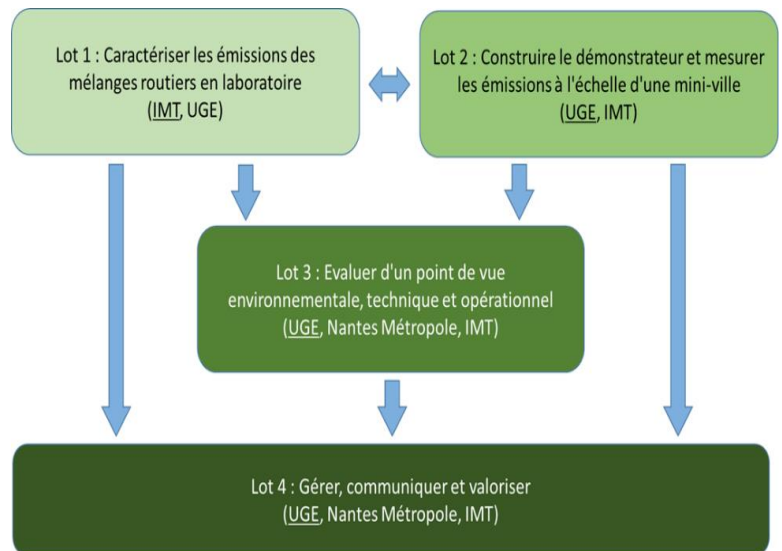






The [Streets](#) project (Emissions des matériaux pour les infrastructures de transport routier en phase d'usage) newly funded by ADEME, coordinated by UGE in partnership with IMT Nord Europe and Nantes Métropole, aims to investigate the influence of road materials on air quality in urban areas. The Kick off meeting took place on Sept 3rd. The first actions will consist in:

- (i) characterising in the laboratory the 'cold' emissions (during the use phase) of gaseous and particulate pollutants (including Volatile Organic Compounds, VOCs, and secondary pollutants) from bituminous mixes using an atmospheric chamber to reproduce current and future climatic conditions in relation to climate change.
- (ii) validating the results obtained in the laboratory on the scale of a 'mini-city': moving on from the study of small samples to the more realistic study of a representative pavement in an urban or suburban setting using the Sense-City platform.



### 3 2023-2024 Student projects and internships @Sense-City



#### 3.1 Lemon trees and bio-impedance sensors @Sense-City with ESIEE Students

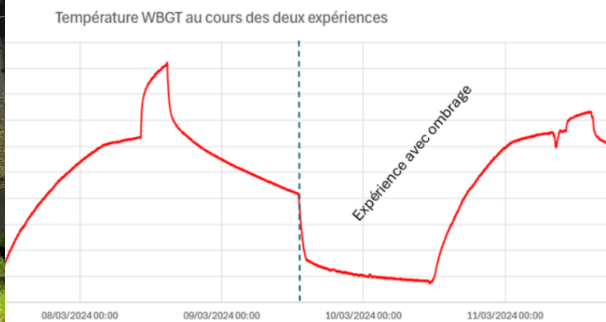


The prototype sensors based on bioimpedance technology to indicate water stress in small trees and vegetables was studied under different scenarios using the Sense-City climate simulator (temperature, humidity, sun exposure). Promising results were confirmed with a population of lemon trees (repeatability of measurements in controlled conditions). Future efforts will focus on details on instrumentation protocol, and consider a wider vegetables panel with the aim to deliver the exact amount of water that the vegetables needs.



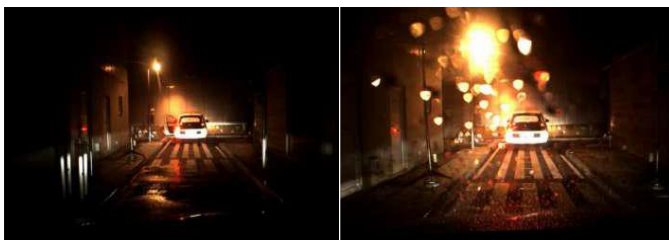
#### 3.2 Developpement of a methodology for urban cooling solution evaluations@Sense-City with ENPC students

An ENPC student team showed the feasibility and developed a methodology for evaluating an urban cooling solution in representative conditions using the Sense-City physical simulation capabilities and equipment (heat wave in the Canyon street).

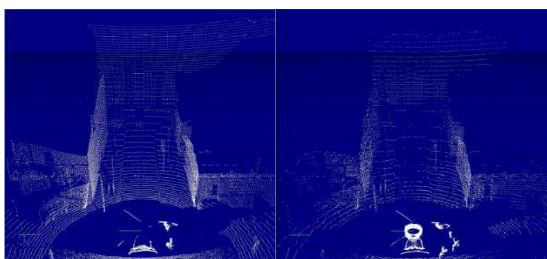


#### 3.3 Performance evaluation of autonomous vehicle perception systems in adverse weather conditions @Sense-City with ENPC students

An ENPC student team defined different scenarios and developed experimental set-ups showing the impact of simulated (in Sense-City) adverse weather conditions (rain, fog) on perception systems embedded on a prototype Zoe. The conclusions pointed out the need to integrate adverse weather consideration in current and future perception systems design and validation.



*Embedded Camera view at reference state (no weather disturbance - left) and with simulated rain conditions in Sense-City (right)*



*Embedded Lidar view at reference state (no weather disturbance - left) and with simulated fog conditions in Sense-City (right)*



## 4 2024-205 projects and internships @Sense-City

### NEW

#### 4.1 Projet de fin d'études d'Ingénieur proposé dans le cadre du PN ISSU/WP1/Bibliographie des SFN (à pourvoir)

##### **Sujet : Etat de l'art des solutions de rafraîchissement urbain fondées sur la nature (solutions Vertes et bleues)**

Localisation : UGE Marne-La Vallée

Démarrage souhaité courage 2<sup>e</sup> semestre 2024.

##### 4.1.1 Contexte et objectifs

L'objectif de ce stage est d'élaborer un état de l'art des solutions de rafraîchissement urbain de type bleues et vertes au sein du projet National ISSU (Innovations et Solutions pour lutter contre la Surchauffe Urbaine, <https://www.pn-issu.fr/>)

Les Solutions Fondées sur la Nature sont des réponses positives à des défis sociétaux, ayant la capacité de répondre simultanément à des objectifs environnementaux, sociaux et économiques. Ce sont des actions inspirées de, véhiculées par ou copiées de la nature. Elles utilisent et valorisent des solutions existantes face à ces défis, mais explorent également des solutions nouvelles.

Dans l'idéal, les Solutions Fondées sur la Nature sont résilientes face au changement, mais aussi efficaces en termes énergétique et de ressources. Elles considèrent l'importance de développer une approche systémique, tout s'adaptant au contexte local. [Définition de l'UE- 2015].

Le but de cette tâche est de proposer une revue des SFN, en particulier des Solutions Vertes et Bleues (SVB). Les solutions Vertes reposent sur la végétalisation. Ce sont des solutions de rafraîchissement régulièrement utilisées dans les projets d'aménagement urbain. Elles fonctionnent grâce à l'action conjointe de deux phénomènes : l'évapotranspiration et l'ombrage. Ces solutions Vertes sont souvent conjointes aux solutions Bleues basées essentiellement sur la gestion de l'eau en ville. Les solutions Bleues constituent un ensemble de solutions au fort potentiel rafraîchissant [définition de l'ADEME, 2021].

##### 4.1.2 Programme de travail

Le programme de travail proposé comporte les axes suivants

- Sur la base d'une synthèse bibliographique élargie (au plan international) et d'interrogation de bases de données existantes, proposer une nomenclature des systèmes élémentaires des SVB, identifier et caractériser pour chaque solution identifiée en particulier :

- Son impact sur l'îlot de chaleur urbain (propriétés radiatives, thermiques et hydriques...). On précisera si possible les performances rafraîchissantes de façon quantitative et/ou identifiera les métriques / méthodologies existantes et pertinentes.
- L'ensemble de ses besoins spécifiques, conditions, besoins en monitoring et verrous particuliers pour garantir le maintien des solutions élémentaires dans un état de bien être optimal pour un impact maximal sur l'ICU, en particulier :
  - Ses besoins en eau
  - Les caractéristiques du sol et ses propriétés souhaitées
  - Ses besoins en suivi (monitoring précis sur le plan hydrique ...)
- Sa pérennité et sa durabilité prévisionnelle (au travers des REX et des bases documentaires existantes, cf. par exemple kit technique de solutions de rafraîchissement URBAIN de l'ADEME)
- L'existence de modèles permettant de simuler des améliorations de ses performances
-



- Son comportement spécifique par rapport à d'autres espèces
  
  - Ses différents seuils de résistance (au climat prévisionnel à horizon 2030-2050 avec différents scénarios prospectifs notamment au niveau pluviométrie, à la répétition de surchauffes, ...)
  - Ses spécificités géographiques
  - Ses réactions connues et sa résilience par rapport à la pollution (par exemple aux hydrocarbures, métaux lourds apportés par les eaux de ruissellement). On pourra intégrer dans cet état des lieux des normes sur la pollution des sols (en France et à l'étranger)
- Synthétiser les retours d'expérience des constructeurs de SVB (critères de choix, soutenabilité, modèle économique, ...)
  - Proposer des critères additionnels, en particulier au niveau des co-bénéfices potentiels (gestion écosystémique, co-bénéfices pour les humains - co-bénéfice pour la biodiversité), à l'image du guide édité par l'ADEME [Rafraîchir les villes, des solutions variées]
  - Préciser, le cas échéant, le potentiel d'association de systèmes élémentaires de SVB à des installations existantes ou de combinaison entre différents systèmes élémentaires de SVB (approche visant à identifier des co-bénéfices inter systémiques, par exemple en associant des toitures végétalisées à des ombrières photovoltaïques).

#### 4.1.3 Profil candidat /s :

Elève-Ingénieur en dernière année (niveau M2) ou en année de césure avec parcours intégrant de bonnes connaissances du vivant, (la spécialisation Ingénieur agronome est bienvenue). Un vif intérêt pour les questions de recherche sur les conséquences du réchauffement climatique, la surchauffe urbaine, les caractérisations expérimentales, la simulation climatique, de l'instrumentation et de la mesure ainsi que la recherche de solutions opérationnelles.



4.2 Simulations d'un cas de surchauffe urbaine et étude d'impact (project ENPC 1A)

## **SIMULATION D'UN CAS DE SURCHAUFFE URBAINE ET ETUDE D'IMPACT**

**Encadrants : Asma ACHNIB<sup>1</sup>, Sophie PARISON<sup>1</sup>, Julien WAEYTENS<sup>1</sup>, Yan ULANOWSKI<sup>1</sup>, Stéphane LAPORTE<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup> Laboratoire IMSE, Université Gustave Eiffel**



*Gauche : Vue de l'ensemble de la plateforme de la mini-ville 1 avec le bâtiment R+1 dans Sense-City (<https://sense-city.ifsttar.fr/>)*

*Droite : Vue du bâtiment R+1 couvert par l'enceinte climatique*

**Mots-clés :** Surchauffe urbaine, expérimentation climatique, confort thermique, consommation énergétique, solutions innovantes.

**Type de projet :** parcours recherche, Ingénierie, Innovation.

**Contexte :**

Le phénomène de surchauffe urbaine est aujourd'hui une question dominante de l'urbanisme. Cette étude propose d'effectuer des simulations expérimentales de périodes de canicules à l'intérieur d'un bâtiment de type R+1 disponible au sein de la plateforme climatique Sense-City ainsi qu'une d'évaluer les différents impacts (confort, thermique bâtiment, énergétique).

**Articulation avec des enseignements de première année**

Plans d'expériences

**Cours électifs de première année recommandés :**

Ville et transition énergétique, questions économiques et géopolitiques du changement climatique.

**Objectifs pédagogiques :**

- Comprendre l'impact du réchauffement climatique sur les risques et les besoins des usagers à l'intérieur des habitations, sur le bâtiment et sur la consommation énergétique à partir d'un état de l'art
- Définir une démarche de R&D visant à caractériser de façon expérimentale les effets de différents scénarios de canicule à l'aide de moyens représentatifs et mesures adaptées au sein de la plateforme Sense-city.
- Proposer des solutions d'atténuation des effets du réchauffement et d'amélioration des moyens expérimentaux le cas échéant.

**Descriptif :**



Après une phase d'état de l'art, on construira un plan d'expérimentation qui mobilisera le simulateur climatique [Sense-City](#) positionné sur le bâtiment climatisé de type R+1 ainsi que l'instrumentation disponible. Différents scénarios représentatifs de canicules seront étudiés et simulés. Les impacts sur le confort à l'intérieur du bâtiment, les consommations, le bâtiment lui-même seront observés/mesurés. Des aménagements permettant d'atténuer les effets des différents scénarios de canicule pourront être proposés et simulés de façon à en caractériser

Expérimentalement les effets. Des suggestions d'amélioration des moyens expérimentaux pourront être proposés afin d'en améliorer la représentativité si ce besoin est identifié.

### **Déroulement indicatif :**

- Réaliser un état de l'art sur la problématique des îlots de chaleur, sur leurs différents impacts, sur les méthodologies d'évaluation du confort thermique et des consommations énergétiques
- Identifier et construire des scénarios de canicules réalistes actuels et à un horizon plus lointain à partir de données disponibles
- Définir, réaliser des expérimentations et évaluer l'ensemble des impacts avec une instrumentée adaptée (confort thermique, consommation énergétique, thermique bâtiment ...) à l'aide la plateforme climatique de Sense-City (bâtiment R+1) et des moyens disponibles.
- Identifier, proposer et si possible caractériser l'impact de solutions innovantes pour atténuer les effets négatifs identifiés
- Evaluer la représentativité du simulateur climatique par rapport au besoin et si besoin proposer des améliorations

**Lieu :** Sense-City / Salles Bienvenüe

**Nombre d'élèves maximum :** 3 à 4 (2 pour le parcours recherche)

### **Références bibliographiques:**

- [1] Zohra Djatouti, Julien Waeytens, Ludovic Chamoin, Patrice Chatellier, Goal-oriented sensor placement and model updating strategies applied to a real building in the Sense-City equipment under controlled winter and heat wave scenarios, *Energy and Buildings*, Volume 231,2021, 110486, ISSN 0378- 7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110486>.



## **ETUDE AERODYNAMIQUE DE PROJECTILES SPORTIFS : LE JAVELOT**

**Encadrants : Rémi CARMIGNANI <sup>1</sup>**

**Stéphane LAPORTE <sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>LHSV, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées**

**<sup>2</sup>Université Gustave Eiffel**



*Différents projectiles sportifs et lanceur de javelot*

**Mots-clés :** Aérodynamique, projectile sportif, javelot

**Type de projet :** recherche/innovation

**Contexte, articulation avec d'autres enseignements :** ce projet s'inscrit dans la continuité du tronc commun de mécanique. Il introduit les élèves à des notions de mécanique des fluides d'aérodynamique et plus généralement de la physique du sport (cours de 2A).

**Cours de première année associés :** mécanique des milieux continus C

**Cours électifs de première année recommandés :** deux cours parmi *Introduction à la mécanique lagrangienne, Pratique du calcul scientifique, Optimisation, Programmation en C++ ou python*

**Objectifs pédagogiques :** Faire une recherche et une synthèse bibliographique, Comprendre les facteurs d'influences sur l'aérodynamique de différents projectiles sportifs, Réaliser une simulation de vol d'un projectile avec des données issues de la littérature scientifique

**Descriptif :**

Les Jeux Olympiques de Paris ont été l'occasion de célébrer les valeurs du sport mais aussi de la science. En effet, les bénéfices d'un support scientifique adapté mobilisant des connaissances multidisciplinaires ont été évoqués à de nombreuses occasions comme source de progrès des performances. Le sport peut être aussi une façon de mobiliser la curiosité de futurs chercheurs et ingénieurs. Ainsi, les sports utilisant des projectiles peuvent illustrer de façon intéressante différents phénomènes aérodynamiques (Clanet, 2015; Goff, 2013 et voir le cours de 2A PHYSP). Dans ce projet, nous nous intéresserons à la distance maximale de projectiles sportifs, de la simple balle de sport (comment dimensionner un terrain ?) aux disciplines de lancer et notamment le lancer de javelot.

**Déroulement indicatif :**

Il est proposé dans un premier temps d'effectuer un état de l'art des connaissances en matière du comportement aérodynamique de différents projectiles sportifs (sphérique ou non), par exemple en s'appuyant sur (Clanet, 2015; Goff, 2013).

Un cas particulier est celui du lancer de javelot. Il est proposé dans un deuxième temps de faire un état de l'art de ce type de trajectoire ;

- De l'évolution des records avec les années dans cette spécialité
- Des publications traitant des différentes simulations de vol de javelots
- Des hypothèses utilisées pour la modélisation
- Des données disponibles dans la littérature



- Des outils disponibles pour effectuer une simulation du vol.

On pourra consulter à cette fin les travaux de Hubbard & Rust, (1984) .

Les élèves développeront des codes de simulation pour reproduire les différents grands types de trajectoires identifiés.

On pourra par la suite chercher à :

- Identifier et optimiser les paramètres d'influence sur la performance en utilisant la simulation
- Identifier les pistes d'amélioration de la représentativité des simulations
- Faire des propositions pour mesurer de façon suffisamment précise les facteurs d'influence sur la performance (conditions initiales) pour différents lanceurs lors d'une compétition.

**Lieu :** réunions de suivi en salle de réunion à la bibliothèque et dans le bureau de l'encadrant

**Nombre d'élèves maximum : 3 à 4 (2 pour le parcours recherche)**

**Références bibliographiques :**

Clanet, C. (2015). Sports Ballistics. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 47(1), 455–478.

<https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-010313-141255>

Goff, J. (2013). A review of recent research into aerodynamics of sport projectiles. *Sports Engineering*, 16. <https://doi.org/10.1007/s12283-013-0117-z>

Hubbard, M., & Rust, H. J. (1984). Simulation of javelin flight using experimental aerodynamic data. *Journal of Biomechanics*, 17(10), 769–776.

[https://doi.org/10.1016/0021-9290\(84\)90107-6](https://doi.org/10.1016/0021-9290(84)90107-6)



**Université  
Gustave Eiffel**

Need for more information?

Please contact

**Stéphane Laporte**

Sense-City Director

[Stephane.laporte@univ-eiffel.fr](mailto:Stephane.laporte@univ-eiffel.fr)