

sense CITY

Dossier de presse



Inauguration de l'Équipement d'excellence *Sense-City*

27 mars 2018 - Visite de presse
Université Paris-Est - Cité Descartes



En couverture : vue de l'Équipement d'excellence *Sense-City*
Photo : Jean-Louis Massé

Sommaire

Éditorial

par **Philippe Tchamitchian**, *président de la Comue Paris-Est*7

■ **Un outil unique pour expérimenter la ville de demain**

Anne Ruas, *chercheuse à l'Ifsttar, coordinatrice de Sense-City*8

■ **Proteus**

Vers des capteurs intelligents pour améliorer la qualité de l'eau10

■ **Optimiser les performances des géostructures thermiques**12

■ **CONNECTe-CITY : optimiser la gestion des équipements urbains électriques**14

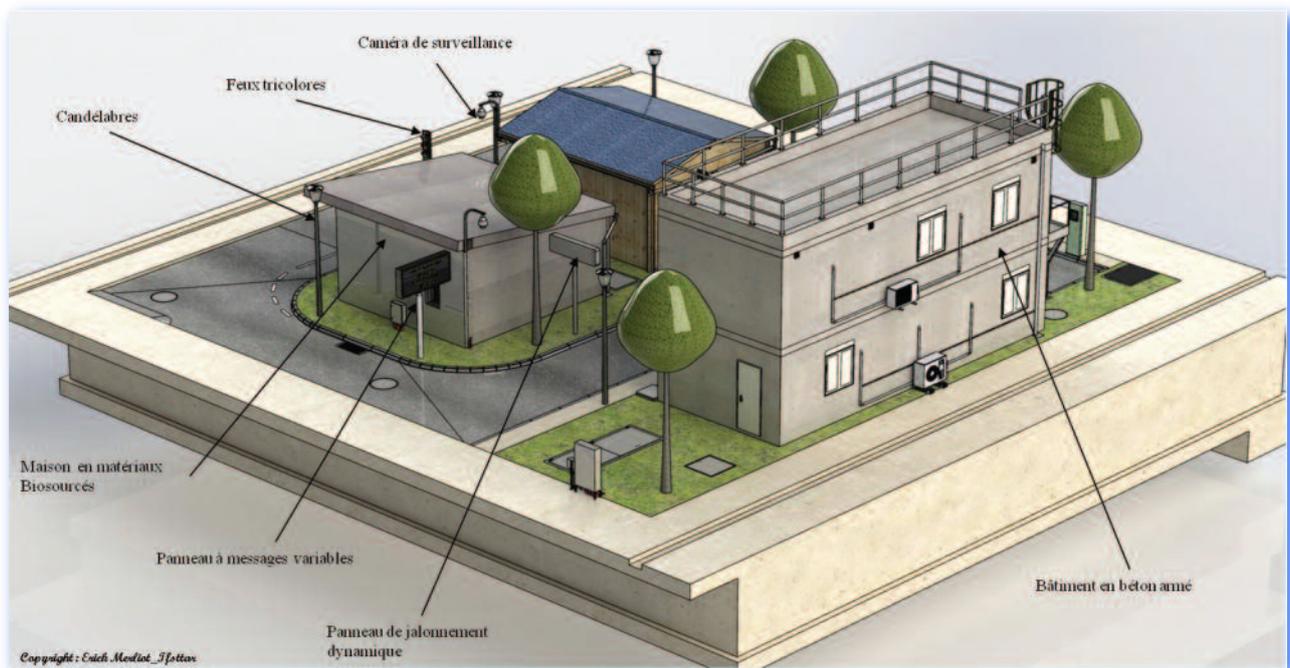
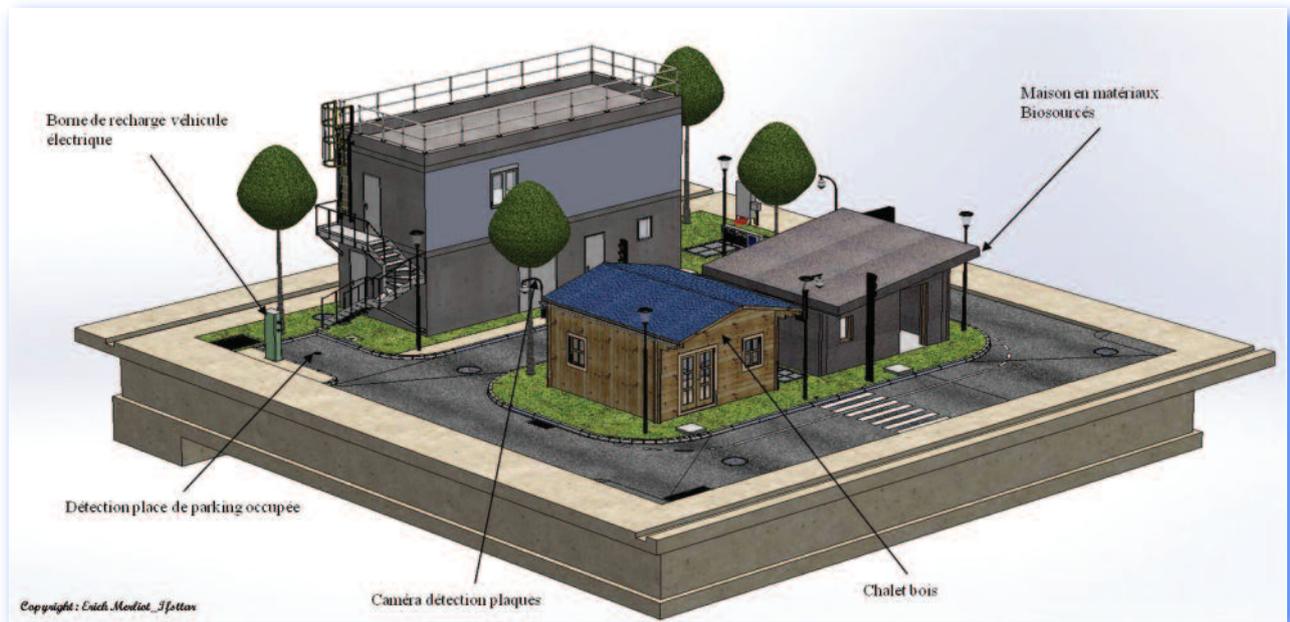
■ **Altaroad : rendre la route intelligente, sûre et durable**16

■ **Étudier les performances et la durabilité**

des matériaux biosourcés dans la construction18



La mini ville

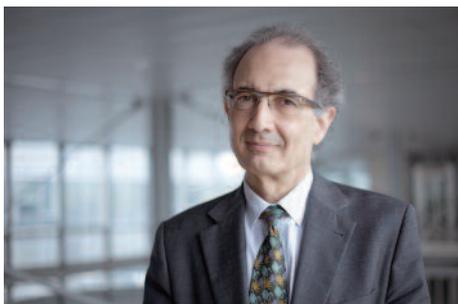


Éditorial

Par **Philippe Tchamitchian**
Président de la Comue Paris-Est

Sense-City

Un équipement d'excellence pour l'I-SITE Future de Paris-Est



« Au cœur d'Université Paris-Est, dans la Cité Descartes, la mini-ville *Sense-City* représente un terrain d'expérimentation exceptionnel de 800 mètres carrés en matière de recherche scientifique liée aux innovations urbaines. Ce démonstrateur équipé d'une multitude de capteurs permet de réaliser des mesures sur plusieurs jours ou plusieurs mois, dans des conditions climatiques contrôlées (température, hygrométrie, etc.), qu'elles soient extrêmes ou non. *Sense-City* sert à étudier par exemple les performances énergétiques de nouveaux matériaux ou bâtiments, la gestion des flux et des déchets, les effets de la pollution (air intérieur et extérieur, eau, sols) ou encore l'instrumentation de la ville. Ainsi, cette installation contribue à améliorer la conception et le fonctionnement des micro et nano-capteurs amenés à se multiplier dans les espaces urbains de demain pour, in fine, offrir à leurs habitants de nouveaux services.

Fort de ces caractéristiques, *Sense-City* est tout à fait complémentaire des autres équipements d'expérimentation présents sur le campus Descartes d'Université Paris-Est. Son rôle est naturellement lié à celui des salles blanches d'ESIEE Paris, dédiées à la conception de capteurs : *Sense-City* est utilisé pour tester ces capteurs dans un environnement contrôlé. Ouvert à nos entreprises et collectivités territoriales partenaires, cette installation répond à leurs axes et problématiques de R & D s'agissant de l'acquisition et du captage de données.

Dès à présent, l'objectif de notre consortium consiste à faire de *Sense-City* une étape dans l'expérimentation de dispositifs d'acquisition de données à plus large échelle. En effet, dans un avenir proche, des capteurs expérimentaux équiperont des bâtiments habités et des réseaux accueillant différentes activités humaines et des flux de circulation variés (piétons, cyclistes, automobilistes, etc.).

À moyen terme, *Sense-City* a donc vocation à devenir un démonstrateur industriel de référence sur la ville instrumentée durable et sur les nouveaux usages proposés à toutes ses parties prenantes. »

« *Sense-City* est complémentaire des autres installations de recherche présentes sur notre campus »

Philippe Tchamitchian, *président de la Comue Paris-Est*

Sense-City est un équipement d'excellence du Programme d'investissements d'avenir de l'Agence nationale de la recherche, doté d'un budget de 9 millions d'euros pour la période 2011-2019. Sense-city est également soutenu par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (CPER 2014-2020). D'abord porté par Université Paris-Est, ce programme implique aujourd'hui un consortium de plusieurs partenaires : Ifsttar, ESIEE-CCIP, LPICM (UMR 7647 École Polytechnique-CNRS), CSTB, Inria et UPEM.

Un outil unique pour expérimenter la ville de demain

Anne Ruas

Chercheuse à l'Ifsttar, coordinatrice de Sense-City

Étudier le métabolisme urbain pour améliorer la ville de demain : telle est la vocation de *Sense-City*. Cet équipement d'excellence se compose d'une halle climatique mobile pouvant recouvrir deux « mini-villes ». L'une d'elles est aujourd'hui opérationnelle. Réalisée à l'échelle 1, cette portion de quartier urbain de 400 m² est bardée de capteurs. Sous la chambre hermétique ou à l'air libre, elle va permettre de mener des expérimentations in situ sur les principales composantes de la ville : bâtiments, infrastructures, mobilier urbain, réseaux de distribution, sols, etc. Finalité de cet environnement instrumenté et contrôlé : étudier les micro et nano capteurs, les réseaux de communication, la pollution de l'eau, de l'air et du sol, les déperditions énergétiques, les échanges thermiques ou les propriétés des matériaux de la ville de demain. *Sense-City* offre une nouvelle plateforme de R&D aux industriels et un équipement pluridisciplinaire unique aux chercheurs en microélectronique, physique, science des matériaux, informatique...

Un simulateur climatique pour rendre nos villes durables

Comment développer des capteurs miniaturisés, moins coûteux et plus fiables ? Quel est l'impact d'un climat standard ou extrême sur les matériaux, la végétation ou la pollution ? Quelles solutions pour atténuer les effets du changement climatique ? Voilà quelques-unes des grandes questions qui animent les nombreux chercheurs et ingénieurs partenaires de *Sense-City*. Avec cet équipement, ils vont pouvoir simuler un climat comme un mois de mars parisien ou une canicule de plusieurs semaines. Température, hygrométrie, ensoleillement, pluie ou pollution (SO₂, CO₂ et NO₂) : la chambre climatique permet de programmer des conditions météorologiques spécifiques sur des durées déterminées et de reproduire l'expérience autant de fois que nécessaire. La première mini-ville va accueillir toute une panoplie de tests et de mesures en conditions réelles dans le cadre des projets scientifiques programmés. Ces derniers porteront notamment sur la performance de la géothermie, sur le monitoring des mobiliers urbains et sur les matériaux innovants dans le bâtiment. La seconde, en cours de conception, accueillera des nano capteurs de pesage, s'intéressera aux services rendus par la végétation en ville, etc.

Une réponse à un maximum de besoins scientifiques

Deux ans après la pose de la première pierre, *Sense-City* est aujourd'hui ouverte aux expérimentations. Mise en œuvre par des chercheurs et techniciens de l'Ifsttar, la première mini ville a nécessité près d'un an de conception. La seconde sera finalisée d'ici la fin de l'année. Tout ce projet est le fruit d'une co-construction. Des groupes de travail sur la qualité de l'air, les matériaux biosourcés ou l'analyse de données ont orienté la conception de l'équipement afin de répondre à un maximum de besoins scientifiques. Par ailleurs, un démonstrateur de 250 m² a été installé dès 2014 à une cinquantaine de mètres dans l'objectif de préparer les concepts, outils et méthodes qui vont maintenant être déployés. Nous allons désormais attaquer les choses sérieuses : réaliser des expérimentations en faisant varier le climat à façon.

Caractéristiques techniques

- Une halle climatique de 200 tonnes, d'un volume utile de 3 200 m³ et déplaçable d'une mini ville à l'autre en moins de 45 minutes.
- 2 espaces d'expérimentation de 400 m² au sol chacun dont l'un doté d'une fosse étanche de 1 900 tonnes et d'un volume utile de 1 000 m³.
- Un rayonnement solaire généré par 30 lampes de 2000 W chacune.
- Une régulation de la température de -10 °C à + 40 °C (en moins d'une demi-journée) et de l'humidité de 30 % à 98 %.
- Un plafond thermo-régulé de -10 °C à + 40 °C, indépendant de la température de la halle.
- Une thermalisation de la pluie de + 5 °C à + 30 °C.



La première mini ville et la halle climatique ouverte, mars 2018

Proteus

Vers des capteurs intelligents pour améliorer la qualité de l'eau

Achevé en janvier dernier, le projet collaboratif européen Proteus a contribué à développer des micro et nano capteurs intelligents pour le suivi en temps réel de la qualité de l'eau dans les réseaux d'eau potable. Il a bénéficié des capacités uniques de simulations « real life » offertes par le démonstrateur de Sense-City dans un domaine où les expérimentations in vivo sont impossibles ou très coûteuses.



Capteur Proteus multiparamètre avec son électronique de lecture intégrée par puce CMOS

Fabriquer des capteurs à bas coût qui puissent être installés en grand nombre pour contrôler l'état des réseaux et la qualité de l'eau : telle était l'ambition de Proteus. Soutenu dans le cadre du programme H2020 de l'Union européenne, ce projet collaboratif européen a réuni pendant 3 ans 9 partenaires scientifiques et économiques*. « Les réseaux d'eaux restent aujourd'hui peu instrumentés car les coûts d'acquisition, d'installation et d'entretien des capteurs sont trop élevés » précise Bérengère Lebental, chercheuse Ifsttar, coordinatrice de Proteus. Dans ce contexte, « Proteus contribue tout d'abord à connaître finement, partout dans le réseau et à un coût abordable, les concentrations en chlore, en nitrates ou encore en métaux lourds dans l'eau potable, assure la chercheuse. Ce projet permet aussi de mieux contrôler le débit et la pression dans le réseau, des paramètres essentiels pour détecter instantanément les fuites ou pour diminuer drastiquement la consommation énergétique des réseaux d'eau.». Les partenaires de Proteus se sont appuyés sur le démonstrateur de Sense-City pour valider leurs capteurs innovants. Mis en service en 2015 aux abords de l'équipement d'excellence, le démonstrateur de Sense-City leur a offert un terrain d'expérimentation unique pour tester leurs prototypes : une mini-ville communicante de 250 m².

Proteus s'est déroulé pendant deux ans sur Sense-City. Il a notamment participé au financement des réseaux d'eau aujourd'hui en fonctionnement dans le sous-sol de la 1^{re} mini-ville. Le contrôle des paramètres hydrauliques (pression et débit) ou chimiques ont permis d'évaluer en conditions réalistes les performances de capteurs MEMS (micro-électromécaniques) et à nanotubes de carbone. « Sur un réseau réel, avec des consommateurs en aval, il est très complexe voire impossible de faire varier ces paramètres sans impacter la qualité de service, détaille Bérengère Lebental. De plus, la moindre expérimentation terrain requiert une logistique lourde, tant humainement que techniquement. » Autonomes en énergie, chacun des 3 prototypes préindustriels développés dans le cadre de Proteus comprenait 17 micro et nano capteurs mesurant 9 paramètres différents : température, pH, pression, débit, conductivité, chlore, nitrates, chlorure et dureté de l'eau.

« Sense-City a permis de tester in vivo différents scénarios réalistes d'utilisation ou d'incident sur le réseau »

Bérengère Lebental, chercheuse à l'Ifsttar, coordinatrice de Proteus

* Ifsttar, ESIEE Paris, Easy Global Market SAS, Ponsel mesure SAS, Uninova, SMAS Almada et Unparallel Innovation, Wings ICT Solution et l'Université de Pérouge

« Sense-City a tout d'abord permis d'assembler les technologies de bout en bout, du capteur individuel jusqu'à l'interface utilisateur. Puis l'équipement a permis de tester *in vivo* différents scénarios réalistes d'utilisation ou d'incident sur le réseau : désinfection de l'eau au chlore, intrusion de sel dans le réseau, variations de pression ou débit, etc. » Grâce aux expériences réalisées, les partenaires de Proteus entendent aujourd'hui valoriser leur technologie, notamment grâce à la création d'une startup d'ici à 2020. Finalité : améliorer durablement la qualité de l'eau que nous consommons au quotidien.



Capteurs Proteus (Pnode) déployés dans le réseau d'eau potable Sense-City, avant que celui-ci ne soit enterré dans le sous-sol de la 1re mini ville

Optimiser les performances des géostructures thermiques

Déployé dans le sous-sol instrumenté de la mini-ville de Sense-City, un réseau de géothermie offre aux scientifiques l'occasion d'étudier, en situation quasi-réelle, le comportement de géostructures thermiques. Finalité : améliorer cette technologie de production d'énergie qui contribue à chauffer ou à refroidir un bâtiment.

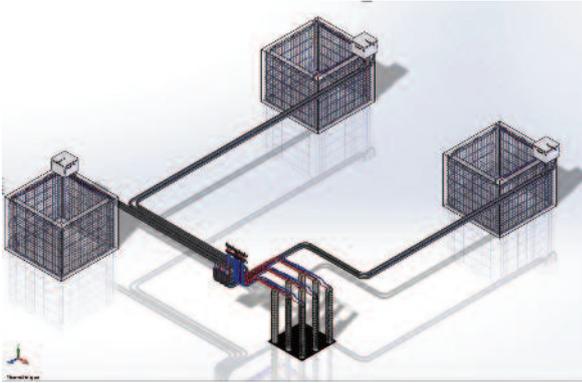


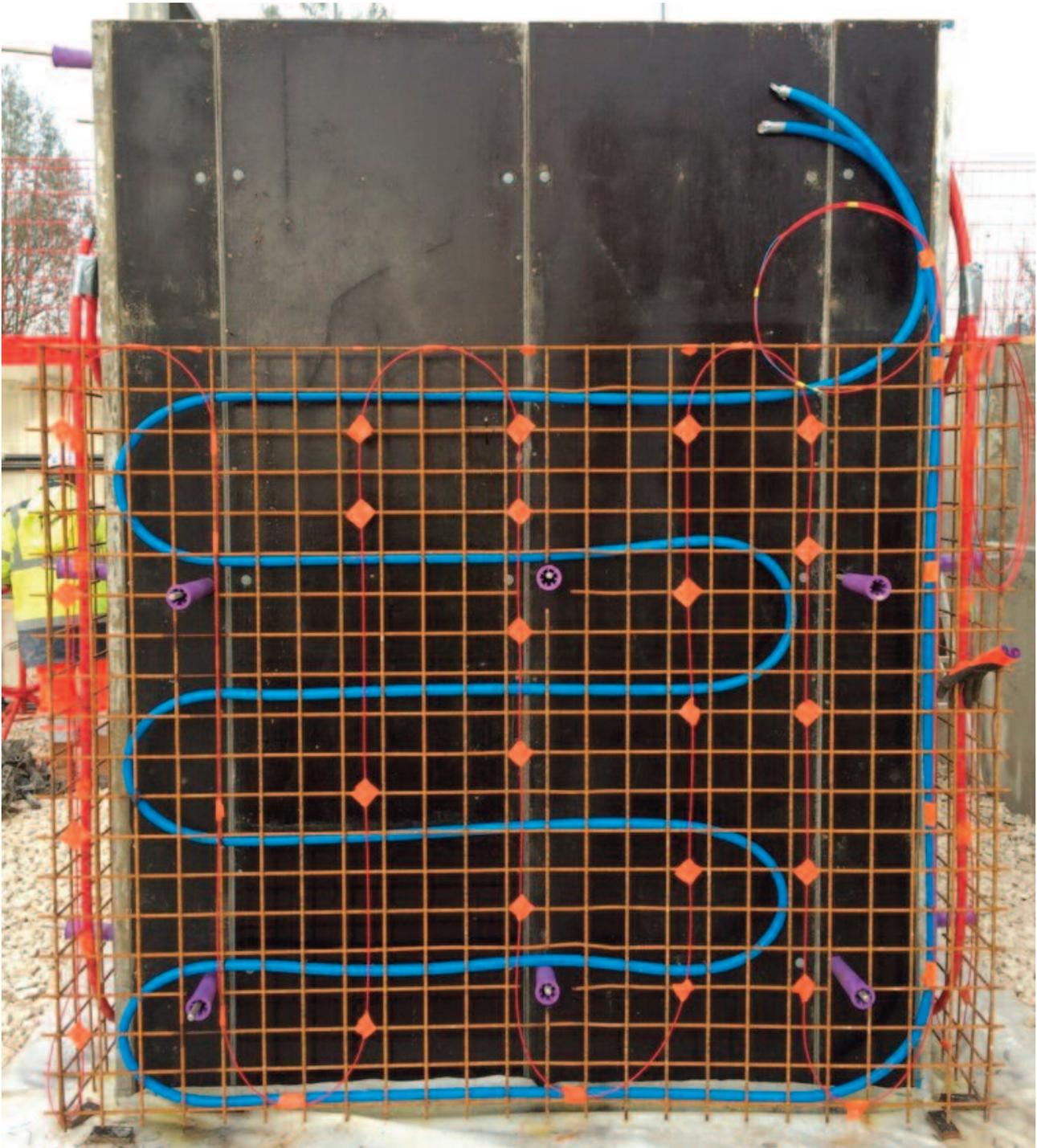
Schéma du réseau de géothermie installé dans le sous-sol de la mini ville

Des pieux de fondations ou des murs de soutènement capables de capter l'énergie du sol environnant ? C'est possible grâce aux géostructures thermiques : un système composé de tubes échangeurs de chaleur directement intégrés dans les ouvrages enterrés. En cours d'aménagement dans des parkings, des stations ou des tunnels de métro, notamment dans le cadre du Grand Paris Express, cette technologie contribue à chauffer ou refroidir un bâtiment. Mais elle pose encore des interrogations scientifiques quant à ses performances ou sa durabilité. Les expérimentations menées à Sense-City devraient apporter des réponses. « La technologie est aujourd'hui mature, nos recherches vont donc porter sur son optimisation thermique et mécanique » détaille Philippe Reiffsteck, directeur de recherche au laboratoire Sols, roches et ouvrages géotechniques (SRO) du département GERS (Géotechnique, environnement, risques naturels et sciences de la Terre) de l'Ifsttar. Ces expérimentations vont se dérouler sous terre, dans le vaste sous-sol de 1 000 m³ de la 1^{re} mini ville. Elle abrite en effet un réseau de géothermie composé de trois ouvrages sous forme de cubes et d'un ensemble de neuf pieux géothermiques. Le tout est équipé de fibre optique et d'un réseau de capteurs de température.

« Les géostructures thermiques pourraient fournir jusqu'à 70 % des besoins énergétiques nécessaires à un bâtiment »

Philippe Reiffsteck, directeur de recherche à l'Ifsttar

« Avec Sense-City nous allons analyser les comportements des géostructures thermiques en simulant différentes situations météorologiques ou natures de terrains dans des conditions quasi-réelles » poursuit le spécialiste en ingénierie géotechnique. Par exemple, des expérimentations porteront sur l'influence de la vitesse d'écoulement des nappes hydrauliques dans les échanges thermiques. « On sait qu'une vitesse d'écoulement élevée augmente la qualité des échanges thermiques, c'est-à-dire la puissance énergétique d'un système géothermique. Mais on ne sait pas dans quelle mesure précisément. » Dans la même optique, les chercheurs regarderont aussi l'influence d'un ouvrage géothermique voisin : « Côte à côte, plusieurs systèmes thermoactifs peuvent perturber l'état thermique naturel du milieu et, en conséquence, l'énergie mobilisable pour chacun d'entre eux. » Dans le cadre du mix énergétique, l'énergie géothermique prend une part de plus en plus importante. « Les géostructures thermiques pourraient fournir jusqu'à 70 % des besoins énergétiques nécessaires à un bâtiment » assure le directeur de recherche.



Exemple de géostructure thermique : en bleu, des tubes échangeurs de chaleur ; en rouge, de la fibre optique.

CONNECTe-CITY

Optimiser la gestion des équipements urbains électriques



Testée à partir de juillet 2018 dans la mini-ville de Sense-City, la solution du consortium CONNECTe-CITY composé de Citeos, Actemium, Arcom, Factory Systemes, Actility, CETU ETIcS (Université de Tours) et l'ESIEE¹, en partenariat avec l'Ifsttar, permet de piloter des installations électriques urbaines à partir d'une même interface. Cet outil est pensé pour faciliter la maintenance, économiser l'énergie et offrir de nouveaux services aux habitants.

« L'objectif de CONNECTe-CITY, c'est de fournir une solution clé en main pour piloter tous les équipements électriques d'une ville » explique Emmanuel Dallery, responsable d'affaires chez Citeos². Depuis 2016, le consortium développe des solutions logicielles et matérielles (capteurs et objets connectés) qui offriront une vue d'ensemble de toutes les installations urbaines : éclairage public, feux tricolores, caméras de vidéoprotection, capteurs de qualité de l'air, bornes de véhicules électriques... « Actuellement, les villes utilisent un logiciel différent pour chaque type d'équipement, indique Emmanuel Dallery. CONNECTe-CITY propose un hyperviseur interopérable, c'est-à-dire une interface capable de centraliser toutes les données produites par ces systèmes, afin de les rendre lisibles et exploitables instantanément. »

« CONNECTe-CITY centralise les données sur les équipements urbains pour les rendre exploitables instantanément »

Emmanuel Dallery, responsable d'affaires chez Citeos

À l'écran, les informations recueillies génèrent notamment une carte des pannes et accidents actualisée en temps réel. Pour chaque événement, un scénario type est prévu. Par exemple, en cas d'accident filmé à un carrefour, les feux tricolores deviennent clignotants. CONNECTe-CITY vise aussi à optimiser la maintenance : chaque luminaire est doté d'un capteur détectant les pannes et relié à l'interface, ce qui limite les déplacements des équipes chargées de vérifier l'état des installations. Par ailleurs, ces capteurs enregistrent la consommation électrique des équipements.

Sense-City doit accueillir plusieurs tests pour le développement de CONNECTe-CITY. « La mise en place de systèmes de gestion Citylone (marque du groupe Arcom) dans les mâts et les armoires d'éclairage permettra de tester les remontées de pannes et de mesurer les économies d'énergie réalisées. Un autre capteur doit aider les automobilistes à repérer les places de stationnement libres, afin de faciliter la mobilité » détaille Emmanuel Dallery. En parallèle, le CETU ETIcS (Université de Tours) conduit une étude sociologique qui évalue l'acceptabilité des applications développées. Parmi les problématiques explorées : la sécurisation des données et le respect de la vie privée mais aussi l'adéquation des services proposés avec les besoins réels des collectivités et citoyens, dans un contexte d'essor des smart cities.

Les premiers tests menés par Citeos dans Sense-City débuteront cet été 2018, après l'inauguration du site et la mise en place du réseau de communication dédié à ces expérimentations. « Nous utilisons une nouvelle génération de capteurs LoRaWAN (radio longue portée), caractérisés par une très longue durée de vie. Là encore, nous privilégions l'usage d'équipements peu gourmands en énergie » conclut Emmanuel Dallery.

¹ Sous l'égide des deux pôles de compétitivité Advancity et S2E2.

² Marque de VINCI Énergies dédiée à la lumière et aux équipements urbains dynamiques

Altaroad

Rendre la route intelligente, sûre et durable



Son ambition : améliorer la durabilité et la sécurité des infrastructures routières. La start-up Altaroad développe un réseau de nano-capteurs enfouis dans la route pour analyser en temps réel les données de l'infrastructure. Aujourd'hui brevetée, sa technologie a d'abord été expérimentée sur la route du démonstrateur de Sense-City. Elle va désormais être soumise à de multiples conditions climatiques sous la halle de l'équipement d'excellence.

Évaluer le type d'un véhicule et son poids, identifier les routes à entretenir ou encore détecter rapidement les situations à risque : verglas, contresens, décalage de véhicule autonome, etc. La technologie déployée par Altaroad permet de suivre en temps réel l'état de la circulation, celui des routes et le comportement des automobilistes. A l'aide d'un réseau de nano-capteurs brevetés et d'algorithmes innovants développés à l'École Polytechnique et à l'Ifsttar, la start-up a mis au point une solution visant à rendre nos routes plus intelligentes, plus sûres et plus durables. « 3,7 milliards de personnes vivent aujourd'hui en ville. En 2030, elles seront près de 5 milliards, soit 50% de plus. Moderniser les routes est un enjeu mondial » souligne Cécile Villette, CEO et cofondatrice de la start-up avec Rihab Jerbi et Bérengère Lebental.

Destinée aux opérateurs routiers et aux gestionnaires de zones de transit (villes, chantiers, entrepôts logistiques...), la solution d'Altaroad offre un outil innovant de prise de décision en temps réel afin d'entretenir des infrastructures et de gérer le trafic et les flux industriels. Son prototypage et son évaluation ont été réalisés sur la route du démonstrateur de Sense-City, une mini-ville laboratoire à ciel ouvert : « Nous avons pu apprendre sur le terrain, résume Cécile Villette. Le démonstrateur de Sense-City nous a permis de tester, en conditions réelles et protégées, les performances de notre dispositif pendant plusieurs mois. Pas de trafic, pas de demande d'autorisations... C'était parfait pour répéter les opérations autant de fois que nécessaire. »

« Avec Sense-City, nous allons pouvoir pratiquer des tests qu'aucune autre structure ne permettrait »

Cécile Villette, CEO



La technologie déployée par Altaroad entend tout d'abord optimiser les flux. Elle permet par exemple de vérifier la livraison à temps et avec le bon chargement de poids lourd sur un site industriel ou de faire un audit ponctuel des chargements. Deuxième fonction de la solution : le contrôle de l'état de la chaussée. Grâce au réseau de nano-capteurs incorporé à la route, la solution d'Altaroad recueille des informations précises sur le nombre de passages ou le poids des véhicules. Elle transmet également des informations sur les caractéristiques de la route comme sa déformation ou l'évolution de ses propriétés mécaniques afin d'anticiper des travaux d'entretien. Enfin, la technologie d'Altaroad entend améliorer la sécurité des infrastructures et des usagers.

Un véhicule circule à contre-sens ? La chaussée est humide ou gelée en profondeur ? Le dispositif détecte ces situations dangereuses et informe les usagers en temps réel.

Aujourd'hui, avec la 1^{re} mini-ville de Sense-City et sa halle climatique, les travaux de la start-up vont prendre une nouvelle dimension. « Température, humidité, qualité de l'air... Tout est réglable. Nous allons pouvoir pratiquer des tests très précis qu'aucune autre structure ne permettrait » s'enthousiasme Cécile Villette. En simulant par exemple une canicule, un grand froid ou un orage, Sense-City va contribuer à évaluer les performances de la technologie d'Altaroad dans de nombreuses conditions climatiques.

Dates clés

2014 : dépôt du brevet Ifsttar / Ecole Polytechnique / CNRS

2015 : rencontre des fondatrices

2016 : premier prototype testé à Sense-City

2017 : financement par la SATT Paris Saclay et accompagnement de l'incubateur Agoranov

2018 : financement par Wilco



Étudier les performances et la durabilité des matériaux biosourcés dans la construction

Parmi les trois bâtiments de la mini-ville de Sense-City, une maison aux façades instrumentées doit contribuer à en savoir plus sur les propriétés des matériaux biosourcés utilisés dans la construction. Exposés à une multitude de simulations climatiques, leurs performances seront analysées in-situ dans des configurations très variées.

Un bâtiment de 4,5 mètres sur 5, composé d'une unique pièce au plancher et à la toiture fixes mais aux parois modulables. Bienvenue dans la maison biosourcée de Sense-City, l'une des trois constructions qui composent la première mini-ville de cet équipement d'excellence. « *C'est une cellule de mesures évolutive* » résume Sandrine Marceau, chercheuse Ifsttar, animatrice du groupe de travail « Matériaux biosourcés » de Sense-City. Truffées de capteurs et de systèmes de collecte de données, les parois de cette petite maison à ossature bois sont conçues pour y intégrer des panneaux préfabriqués, « *à la manière de Lego* ». En plein air ou sous la halle de Sense-City, elles vont permettre de mettre à l'épreuve du temps les matériaux biosourcés de plus en plus utilisés pour la construction. Objectif : valider l'intérêt de les utiliser dans l'habitat par des données expérimentales. « *À ce jour, il n'existe pas vraiment d'évaluations fiables de leurs performances intrinsèques dans des conditions réelles car les études sont réalisées en laboratoire ou sur un bâtiment habité* » précise Sandrine Marceau.

« Tous les types de climat possibles avec Sense-City nous intéressent pour recueillir un maximum de données dans des configurations variées »

Sandrine Marceau, chercheuse à l'Ifsttar



Paroi de béton de chanvre dans une ossature bois

Béton de chanvre, paille, ouate de cellulose, laine de bois, de lin ou de chanvre... La plupart des matériaux analysés seront issus de matières premières végétales, locales et renouvelables. Comment évoluent leurs performances dans le temps ? Quelle est leur sensibilité à l'humidité ? Quel impact ont-ils sur le confort acoustique ou la qualité de l'air intérieur ? « *Sense-City est un équipement remarquable pour avoir de nouvelles données sur les propriétés intrinsèques et l'évolution dans le temps de ces matériaux dans un système constructif. Nous allons pouvoir les faire vieillir, les contrôler puis les comparer avec nos mesures de laboratoire.* » Sense-City va en effet permettre d'étudier les propriétés mécaniques, thermiques, acoustiques et hygrothermiques de ces matériaux dans des conditions climatiques variées : « *Froid sec ou chaleur humide, tous les types de climat nous intéressent afin de recueillir un maximum d'informations dans*

des configurations variées. »

Parmi les premiers matériaux qui vont être exposés aux climats simulés dans *Sense-City* : les panneaux de fibre de bois, « *un isolant couramment utilisé et simple à mettre en œuvre* ». Des capteurs de température et d'humidité positionnés à l'intérieur, à l'extérieur et dans les panneaux de fibres contribueront par exemple à mieux comprendre et modéliser les transferts de chaleur et d'humidité à l'œuvre. « *L'objectif est de mettre en place une méthodologie d'étude à appliquer à différents types de matériaux, y compris des matériaux non biosourcés comme une laine de verre ou de roche, afin de disposer de données de références.* » Dans le cadre de ces travaux, Sandrine Marceau et son équipe collaborent avec des partenaires tels que la *start-up* coopérative Karibati et le Cerema.



*Observation des fibres de chanvre dans une laine isolante
par microscopie électronique à balayage*

Contact presse :

Ifsttar : Émilie Vidal - 01 81 66 82 15 - 06 19 71 21 95 - emilie.vidal@ifsttar.fr

Mise en page : Ph. Caquelard, *Ifsttar*