

DOSSIER DE PRESSE

le consortium Sense City présente

LA MINI-VILLE COMMUNICANTE

19 mars 2015
Ifsttar, Cité Descartes



Sommaire

Introduction	2
Sense-City ou comment faire de la ville sensible une ville durable	
Interview de Serge Piperno , <i>directeur scientifique de l'Ifsttar</i>	3
Interview de Jean-Louis Marchand , <i>président du pôle de compétitivité Advancity</i>	5
Du réseau de capteurs à la représentation des phénomènes urbains	
Architecture de collecte de données : cas de la qualité de l'air	8
La RFID au service du monitoring urbain	9
De la mesure à la représentation des températures	10
Route et mobilité	
Interaction cyclistes/piétons : perceptions, attitudes et prises de décision	11
Route intelligente, détection de véhicules	12
Énergétique du bâtiment	
Instrumentation en temps réel du comportement énergétique d'un bâtiment	13
Instrumentation thermique en extérieur par thermographie infrarouge connectée	14
Suivi des infrastructures	
Détection d'objets enterrés par géoradar	16
Instrumentation du béton par nanocapteurs noyés	17

Introduction

Sense-City ou comment faire de la ville sensible une ville durable

La recherche et l'ingénierie au service de la ville de demain

Sense-City, qu'est ce que c'est ? Derrière ce terme anglophone qui signifie « ville sensible » se cache un large espace expérimental pour la validation des technologies qui rendront nos villes plus durables. De la mesure de la qualité de l'air au suivi de performances énergétiques du bâtiment, de la détection de véhicules à l'étude des trajectoires des usagers de la route, de la détection des réseaux enterrés à l'instrumentation des infrastructures, tout est pensé pour préparer la ville du futur, un lieu de vie agréable, convivial et résilient, capable de s'auto-diagnostiquer en permanence pour devenir plus économe en ressources, plus propre et plus sain.

Les enjeux sont majeurs : selon les chiffres du ministère de l'Écologie , le secteur du bâtiment représentait en 2012, 44 % de la consommation énergétique française et 123 millions de tonnes de CO₂ émises annuellement. Selon l'OMS, la pollution de l'air causerait 350 000 décès prématurés en Europe par an. Si cette pollution n'existait pas, les Européens vivraient en moyenne 8,6 mois de plus. En s'attachant à transformer la ville en un système mesurable et mesuré, le consortium Sense-City propose des solutions qui permettront de mitiger l'impact de l'urbanisation croissante de nos sociétés sur les personnes et l'environnement. Le projet s'inscrit ainsi dans la droite ligne du plan de la transition énergétique pour la croissance verte. Celui-ci prévoit notamment un volet pour la rénovation des bâtiments et un autre pour la promotion de transports propres.

Né dans le cadre de la première vague d'appel à projets des investissements d'avenir lancé en 2010 pour redynamiser la recherche française, Sense-City se matérialise aujourd'hui sous la forme d'un premier scénario urbain, une « mini-ville communicante », se focalisant sur la maison et la route intelligentes. Cette plateforme de 250 m² s'insère sur le site de l'Ifsttar, à Champs-sur-Marne, au cœur du cluster Descartes et du pôle d'excellence de la ville durable du Grand Paris.

Depuis déjà 4 ans, académiques et industriels préparent ensemble les concepts, outils et méthodes qui sont déployés dès aujourd'hui dans la « mini-ville communicante ». De nouveaux produits de la recherche et du développement continueront d'être implémentés sur toute la durée de vie de cette plateforme. Avec plus de 60 capteurs en place dès les premiers mois de vie de la mini-ville, le consortium Sense-City propose une démonstration systémique, concrète et réaliste, des potentialités des nouvelles technologies de mesures pour la ville durable.

Interview de Serge Piperno

Directeur scientifique de l'Ifsttar

En 2011, le projet Sense-City se voyait attribuer un financement de 9 M d'euros jusqu'à 2019 dans le cadre de l'appel à projet Equipex du programme d'investissements d'avenir destiné à redynamiser la recherche française. Très concrètement, que peut-on attendre d'un tel projet ?

Le projet Sense-City cherche à réaliser un rêve assez ancien : transformer un système aussi complexe que la ville en un système mesurable et mesuré. Il s'agit ici de construire un dispositif expérimental à échelle réduite permettant de progresser dans les dispositifs de mesure de l'ensemble des compartiments de la ville (atmosphère, pollution, bruit, vibration, état du sous-sol, efficacité énergétique, réseaux, etc.). Sense-City confronte des solutions technologiques (capteurs, modèles, méthodes...) à des scénarios réalistes de la ville, préparant ainsi leur déploiement dans des « living labs » avec des habitants et des usages réels. Un des avantages majeurs sera la possibilité de travailler en milieu confiné et contrôlé, garantissant ainsi la reproductibilité des études.

En 2015, nous inaugurons la première mini-ville communicante Sense-City. Quelle est la place de cette mini-ville dans l'ensemble du projet ?

La « mini-ville communicante » constitue un premier scénario urbain réaliste, qui regroupe une grande variété d'expérimentations autour de la ville intelligente. Placée en conditions climatiques réelles, elle représente un échantillon de ce qu'il sera ensuite possible de faire en environnement climatique contrôlé.

Tout particulièrement, elle met les équipes qui développent les technologies directement en prise avec la complexité de l'urbain. En effet, sur le papier, regrouper en un même lieu expérimental, des éléments de bâti, de

réseaux, et d'infrastructures truffés de capteurs peut sembler simple. Mais la difficulté réside dans les détails : quelle insertion des capteurs ? Quelle représentativité des mesures ? Comment tester leur durabilité ? Cette première maquette nous permet donc ainsi d'appréhender concrètement les verrous technologiques pour atteindre une ville massivement instrumentée.



Dédier un espace tant à l'habitat de demain qu'à la route du futur, est-ce une première au niveau international ?

À ma connaissance, c'est effectivement une première. Il existe bien sûr des éléments instrumentés d'infrastructure expérimentale (et l'Ifsttar en est parfois lui-même un des acteurs), il existe également des dispositifs expérimentaux autour d'éléments constructifs (notamment au CSTB). Le projet Sense-City se situe bien à cheval entre ces deux types de dispositifs. Il complète également des dispositifs de simulation numérique d'environnements urbains.

D'un point de vue technique, bâtiment, route, mobilier urbain, réseaux d'eau... on constate que chaque espace du démonstrateur a été instrumenté. À l'échelle de la ville, à quelle échéance peut-on imaginer pouvoir déployer un tel système de recueil de données ?

Il n'y a pas de difficulté technologique majeure pour déployer, dès à présent, certains types de capteurs, sur des territoires démonstrateurs. En

Interview de Serge Piperno

Suite

revanche, un problème essentiel réside dans la difficulté de reproduire ces démonstrateurs à l'ensemble des territoires. Pour cela, les déploiements doivent s'appuyer sur des modèles économiques viables : il faut donc des capteurs efficaces, suffisamment précis pour ce qui leur est demandé, et qui soient « bas coût » ; il faut également qu'ils puissent contribuer à des services à destination des exploitants ou des gestionnaires d'infrastructures ou aux usagers ; il faut enfin que les usagers puissent se les approprier et que les perspectives d'usage réel soient établies. Sense-City contribue à lever ces différents verrous.

Ce projet rassemble actuellement des partenaires académiques et institutionnels, comment sont associés les acteurs du monde économique ?

Notre but est que Sense-City devienne une vitrine technologique pour les produits de nos partenaires industriels. Aujourd'hui, différents partenaires industriels ont déjà accès à Sense-City dans le cadre de contrats de recherche collaboratifs européens ou nationaux (Ethera, Ecologicsense, Tera Environnement, Aqualabo...) Cette démarche va bien sûr perdurer. En parallèle, le consortium sera très bientôt en mesure de proposer une offre de services complète au monde économique, qui inclura d'une part l'utilisation de l'équipement Sense-City, d'autre part, l'expertise du consortium dans le domaine de l'instrumentation urbaine.

Interview de Jean-Louis Marchand

Président du pôle de compétitivité Advancity

Depuis le démarrage du projet, Advancity fait partie des soutiens majeurs de Sense-City. Quel est l'intérêt pour un pôle de compétitivité et son écosystème de travailler aussi étroitement avec le consortium ?

Nous avons en effet soutenu le projet d'équipement d'excellence dès ses débuts et c'est donc avec satisfaction et enthousiasme que nous avons accueilli sa sélection au titre du PIA. Les partenaires du consortium du projet font partie des membres les plus actifs d'Advancity et témoignent du potentiel de haut niveau de nos adhérents ; cet équipement majeur, attendu avec impatience, permettra de tester in vivo les capteurs et nanocapteurs destinés à mesurer notamment la performance des bâtiments et infrastructures à l'échelle d'un territoire urbain.

Aujourd'hui, les technologies numériques pénètrent tous les secteurs d'activité, et elles seront bien sûr au cœur de la ville durable, et de ce qu'on appelle de plus en plus communément la smart city. Mais à la source de toute donnée collectée, il y a la mesure. La fiabilité, la précision, la répliquabilité à grande échelle de la capacité à mesurer les performances de la ville sont les conditions absolument nécessaires pour bâtir une ville intelligente ; Sense-City permet de répondre à cette exigence. Le caractère transversal des expertises de chacun des membres du consortium est en outre, pour nous, de bon augure.

Décider de baser le démonstrateur au cœur du pôle d'excellence de la Ville durable du Grand Paris, ce n'est pas un hasard. En tant que président d'Advancity, qu'espérez-vous de ce projet pour l'avenir ?

La gestion des transports et déplacements, et les systèmes d'informations associés qui permettront de développer et d'optimiser l'intermodalité,

seront une brique essentielle de la gouvernance numérique de la ville, et un facteur important de l'efficacité de son fonctionnement. Là encore, c'est à beaucoup de transversalité que les différents acteurs vont être appelés, pour collecter, délivrer ou exploiter des informations fiables. Les rythmes diffèrent radicalement entre les exigences ou besoins de très court-terme des usagers, la disponibilité immédiate d'applications locales performantes (disponibilités de places de parkings, géolocalisation, cartographie...), et les temps nécessaires à la mise au point ou à l'interconnexion des systèmes d'information, ou encore la modification de la gestion des voiries ou réseaux associés.

Le Grand Paris Express, futur réseau de transport souterrain à haute performance assorti de ses 72 gares dont 57 nouvelles qui irrigueront véritablement les territoires du Grand Paris, est une formidable opportunité d'avancer sur ces questions, et de fédérer les initiatives. Nous travaillons ardemment avec nos différents partenaires, maîtres d'ouvrage, industriels, académiques et investisseurs pour insuffler de l'innovation dans les opérations d'aménagement du Grand Paris. C'est dans cet esprit que nous approchons la Société du Grand Paris ou que nous collaborons avec l'AFTRP dans le cadre de l'accord signé le 3 juillet dernier. Une dizaine de projets de l'Agence font aujourd'hui l'objet de travaux qui permettront de tester en vraie grandeur des solutions innovantes. Notre coopération avec l'EPA Plaine de France sur l'aménagement numérique du triangle de Gonesse en est un autre exemple.

Le déploiement des innovations issues de la recherche d'Advancity est donc en cours, bien au-delà de son cœur historique de la Cité Descartes. L'implantation de ce démonstrateur au cœur du cluster de la Ville dura-



Interview de Jean-Louis Marchand

Suite

ble témoigne du fait que notre potentiel d'innovation est toujours à son meilleur niveau et que la Cité Descartes reste un incubateur indéniable.

Sense-City accueille déjà des industriels dans le cadre de projets de recherche collaboratifs. Comment pensez-vous que les interactions entre industriels, universités et organismes de recherche vont évoluer autour de Sense-City ?

Sense-City permettra d'accélérer les démarches d'innovation au sein des territoires urbains du Grand Paris. Nous encouragerons bien entendu les industriels à se saisir de cet outil d'exception pour renforcer leurs connaissances techniques, rendre plus performants leurs produits et ainsi améliorer leur offre à destination des maîtres d'ouvrage. Je suis convaincu que ceux-ci seront d'autant plus enclins à s'engager dans la commande de solutions innovantes que les produits et services qui leur seront proposés auront fait l'objet de premiers tests comme se propose de le faire Sense-City.

L'an dernier, la ministre de l'écologie lançait un vaste plan pour la transition énergétique et les enjeux de Sense-City s'inscrivent clairement dans les objectifs de ce programme. Pensez-vous que ce type de projets peut contribuer à accroître le rayonnement du pôle ?

Les phénomènes climatiques extrêmes observés depuis plusieurs années sont autant de signaux des changements en cours et de présages d'évolutions environnementales majeures qui, selon la manière dont elles seront gérées, pourront permettre ou obérer le développement économique

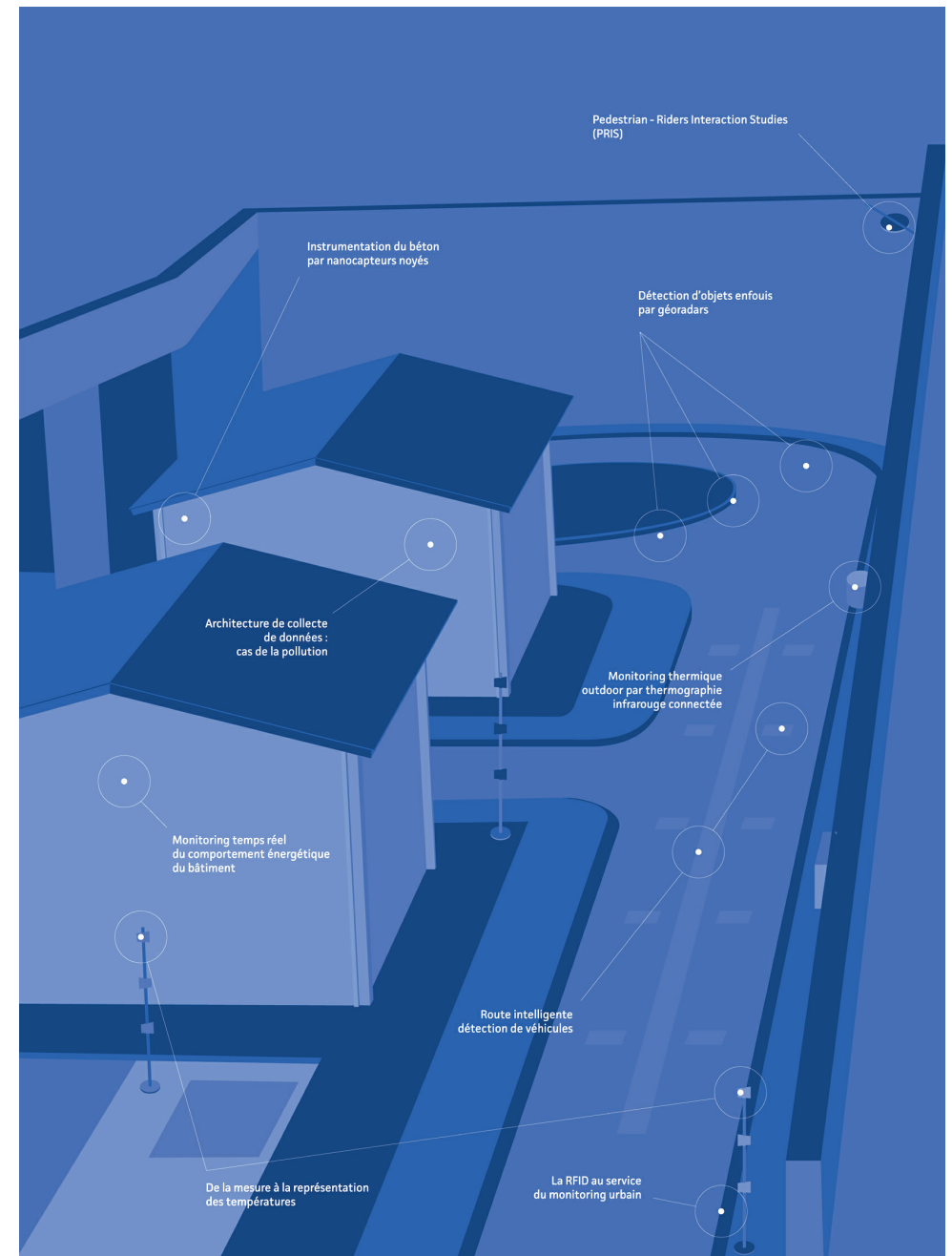
durable et le progrès social. L'innovation et la créativité sont indispensables pour concevoir notre croissance de manière à ne pas renouveler les erreurs ou excès passés et adapter nos modes de vie futurs à des conditions qui vont, de fait, changer. La transition énergétique est bien entendu au cœur de nos préoccupations : dans le cadre de la COP 21, nous avons reçu le label de l'Etat pour plusieurs des actions et manifestations que nous organisons en partenariat notamment avec les collectivités ; nous allons donc continuer, avec une visibilité accrue du fait de ce label, à promouvoir les savoir-faire des acteurs franciliens qui permettront de répondre au changement climatique et Sense-City en fait indéniablement partie. Le rayonnement d'Advancity est avant tout lié à celui de ses membres. C'est pour nous une fierté de contribuer à l'incubation d'innovations majeures et c'est avec détermination que nous veillons à promouvoir ces réussites. Je ne doute pas que, bien utilisé, cet équipement d'excellence qui sera inauguré le 23 mars à Marne-la-Vallée contribuera à accroître la reconnaissance de notre cluster et participera à notre rayonnement collectif.

Du réseau de capteurs à la représentation des phénomènes urbains

Route et mobilité

Énergétique du bâtiment

Suivi des infrastructures



Architecture de collecte de données*

Cas de la qualité de l'air

Rendre notre environnement urbain plus durable repose sur notre capacité à mesurer les phénomènes urbains très variés qui s'y produisent (répartitions des pollutions, fuites thermiques, dégradations des infrastructures, répartition du trafic...) afin de les comprendre puis d'agir dessus pour mitiger leur impact grâce à des systèmes de gestion optimisés (domotique, ventilation, trafic) et des politiques publiques ambitieuses.

Ceci requiert la mise en œuvre de capteurs très divers distribués en grand nombre dans l'ensemble de la ville. L'enjeu est de faire coopérer l'ensemble de ces capteurs sans perturbation, collecter les gros volumes de données qu'ils produisent, puis donner accès à ces données pour développer les modèles et applications qui contribueront à l'amélioration de nos conditions de vie urbaine.

La mini-ville communicante Sense-City permet de concrétiser cette démarche à une échelle réaliste. Près de 60 capteurs sont répartis sur un espace de 250 m² et réalisent des mesures extrêmement diversifiées (température, humidité, déformation, force, ondes radio, émissions infrarouge...). La densité de capteurs que nous exploitons dans la mini-ville est très supérieure aux densités de capteurs disponibles actuellement dans l'espace urbain. Pour gérer de façon efficace et évolutive cette multitude de capteurs, une architecture générique de collecte de données a été mise en place. Elle repose sur le logiciel de supervision « PEGASE », conçu par l'Ifsttar puis développé et commercialisé par la Société PowerLan.

Les données sont stockées dans une base de données adaptée aux grands volumes de données « Big Data » et sont visualisables dans des interfaces graphiques intuitives. Le système est pensé pour être compatible avec une grande variété de capteurs commerciaux ou issus de la recherche, ce qui permettra à la mini-ville d'accueillir de façon très dynamique de nou-

velles expérimentations. L'ensemble des données collectées est disponible sur Internet en « open data », pour favoriser la création très libre de nouvelles applications pour la « Ville Durable ».

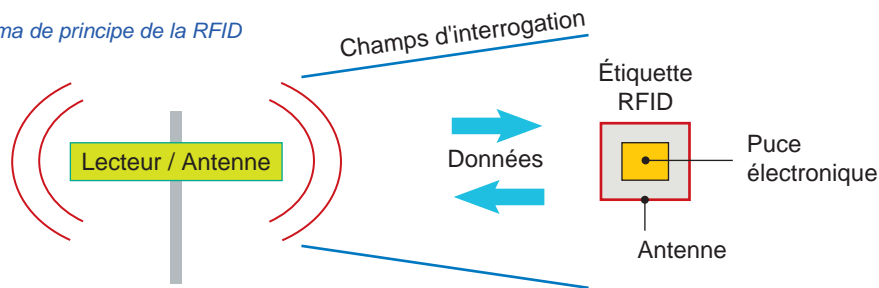
Dans la mini-ville communicante, le superviseur PEGASE collecte dès à présent les données de pas moins de 34 capteurs de température (24 en extérieur, 10 en intérieur), 10 nanocapteurs noyés en béton, 4 stations de mesure de qualité de l'air (taux d'oxyde d'azote (NOx), de monoxyde de carbone (CO) et de particules), 1 caméra thermique infrarouge et 1 station météo (température, humidité, vitesse du vent, ensoleillement, pluviométrie). Une des applications majeures développées autour de ces capteurs est le suivi de la qualité de l'air intérieur et extérieur en environnement urbain. Le projet s'intéresse tout particulièrement aux variations des concentrations de polluants dans l'espace (en fonction de la géographie urbaine) et dans le temps (en fonction du passage de véhicules et de la météo locale). À cette fin, la mini-ville permet justement la mise en place d'un réseau très dense de capteurs, ce qui est essentiel pour mieux comprendre l'exposition des habitants aux polluants urbains, en particulier ceux issus du trafic automobile.

* Travaux développés par le laboratoire Structure et instrumentation intégrée de l'Ifsttar

La RFID au service du monitoring urbain

Le concept de ville intelligente regroupe plusieurs domaines d'applications comme la gestion intelligente des infrastructures (réseaux d'eau et d'électricité, transports, gestion et tri des déchets...), la prévention des risques environnementaux et technologiques ou encore l'aide à la mobilité des personnes. Toutes ces applications nécessitent un système d'observation appelé « monitoring urbain » dans le cadre de la ville. Ce monitoring est rendu possible par un réseau de capteurs communicants sans fil fournissant les données des capteurs (température, qualité de l'air, débit d'eau, vitesse...) et les transmettant par ondes radio pour créer une base de données.

Schéma de principe de la RFID

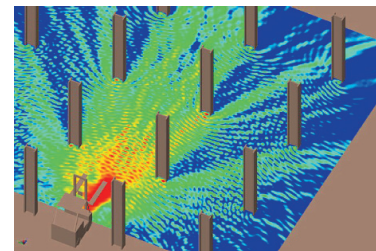


La transmission de l'information des capteurs peut être envisagée par RFID¹ (Radio Frequency IDentification). Des étiquettes ou « tags » RFID noyés dans les infrastructures urbaines (mobilier urbain, bâtiments, réseaux, véhicules...) sont associés à des capteurs. L'information d'un « tag » combine donc l'identification de l'infrastructure et les données de capteur. L'avantage de cette technologie est que les « tags » sont alimentés à distance par des lecteurs fixes ou mobiles sans nécessité de source d'énergie au niveau du « tag ». Donc pas d'alimentation par pile avec une autonomie limitée ou sur secteur avec une infrastructure complexe. L'inconvénient de ce système est une distance de lecture réduite (quelques mètres en RFID ultra hautes fréquences (UHF)).

¹ Les aspects concernant la RFID dans le monitoring urbain pour le projet Sense-City sont développés au laboratoire ESYCOM à l'Université Paris-Est, Marne-la-Vallée.

La particularité du monitoring urbain est la hauteur faible de communication entre les antennes lecteur et les tags : entre 10 cm et 150 cm au-dessus du sol. Dans le cadre de « Sense-City », l'objectif du projet est d'étudier la possibilité d'augmenter la distance de lecture des tags RFID à plusieurs dizaines de mètres par l'utilisation des ondes de surface et de réduire la densité de lecteurs ainsi que les coûts d'infrastructure. Les ondes de surface, bien connues aux basses fréquences (< 2 MHz) pour se propager à grandes distances autour de la terre notamment dans les communications maritimes, peuvent être exploitées dans le cadre de la RFID UHF à 900 MHz en jouant sur certains paramètres (fréquence, traitement de la surface du sol, position et nature des antennes).

La plate-forme expérimentale de monitoring urbain par RFID a pour objectif d'analyser la communication RFID dans le contexte particulier de la ville, de comprendre la nature des ondes de surface aux fréquences UHF et de favoriser leur stimulation. Cette plate-forme est constituée d'un lecteur RFID placé au voisinage d'une rue et d'un robot télécommandé



Cartographie 2D du taux de lecture de tags RFID

muni d'un tag RFID se déplaçant sur la rue. Elle doit fournir une cartographie 2D des distances de lecture du tag et renseigner sur les trous de lecture et les anomalies de propagation. La plate-forme constitue donc à la fois un dispositif d'analyse de monitoring urbain par RFID, mais également un outil d'optimisation pour l'utilisation d'un mode particulier de propagation des ondes radio.



Localisation et identification par radio-fréquences (RFID) d'objets taggés. Utilisation d'un robot pour l'établissement de cartographies de zones de lecture en milieu urbain.

De la mesure à la représentation des températures*

Les évolutions technologiques facilitent la mesure de grandeurs très variées, réalisées à l'aide de capteurs répartis en grand nombre dans l'espace urbain. Des systèmes de communication performants permettent ainsi la récupération de mesures et leur stockage, structurées dans des bases de données. Ces informations collectées sont en fait des informations brutes qui correspondent à la valeur d'une grandeur à un instant et en un point précis. Si certaines grandeurs sont relativement stables, d'autres varient de façon très perceptibles selon les rythmes diurnes et selon le positionnement des mesures. C'est le cas de la température variable spatio-temporelle. Cette variabilité est intéressante à analyser pour comprendre puis mitiger les phénomènes urbains nocifs mais difficile à percevoir. La GéoVisualisation propose des méthodes de visualisation de données complexes. Elle repose sur des outils de la géographie (analyse statistique) et de la géomatique (SIG) qui mettent en lumière l'information recherchée.

Dans le cadre de la mini ville Sense-City, 16 capteurs ont été positionnés sur 8 mâts. Grâce à cette installation, les données de températures ont été collectées toutes les 15 minutes pendant 3 jours. Des ingénieurs de l'IGN ont ensuite réalisé un relevé GPS de l'espace pour disposer d'une première scène 3D. Toutes les données obtenues ont été intégrées à un système d'information géographique (SIG) permettant la représentation des valeurs aux capteurs, soit à un instant donné ou moyenné.

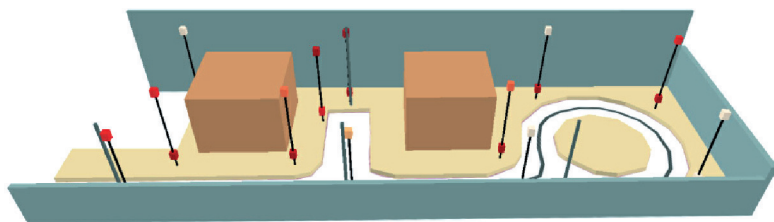


Figure 1

*Travaux menés par le LISIS (laboratoire instrumentation simulation et informatique scientifique) à l'Ifsttar

La figure 1 illustre les températures moyennes mesurées par les capteurs pendant 3 jours. Elles varient entre 8 et 10 degrés. Cette représentation nous permet de voir la variabilité spatiale des valeurs établie à partir de différents critères : existence de zones ensoleillées (sur l'image le Sud est en bas), présence de bâtiments dans l'environnement direct (le grand bâtiment de l'Ifsttar est accolé au Nord de la zone) et flux d'air locaux.

Afin de mieux questionner les écarts, il est possible d'étendre les valeurs à tout l'espace. Au mieux, lorsqu'on dispose d'informations sur les vents, on peut utiliser un modèle de mécanique des fluides. Sinon, il est également envisageable d'interpoler les valeurs sur un plan selon différentes méthodes. C'est ce qui a été réalisé dans le cas présenté ici.

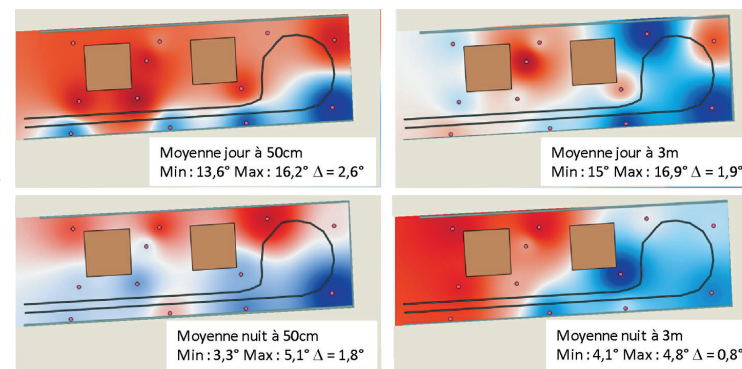


Figure 2

La figure 2 montre les données de jour (entre 10 h et 18 h 30) et de nuit (entre 22 h et 6 h 30), pour les capteurs du bas (à 50 cm) et les capteurs du haut (à 3 m). Les légendes graphiques du rouge (chaud) au bleu (froid) permettent de mettre en évidence les écarts locaux et de chercher des explications pertinentes.

La représentation conceptualisée des données mesurées dans un espace géographique est essentielle non seulement pour communiquer une information aux décideurs mais aussi en amont, pour chercher des causalités, valider des méthodes qui permettent de passer de mesures ponctuelles aux mesures étendues à l'espace d'analyse et d'identifier les meilleures positionnements des capteurs.

Interaction cyclistes / piétons

Perceptions, attitudes et prises de décision



Les modes de déplacements actifs (vélo, marche à pied) sont actuellement en plein essor et se voient accorder une place importante dans les plans de déplacements urbains. Cet essor entraîne une multiplication des interactions urbaines impliquant des cyclistes ou des piétons, ce qui nécessite des ajustements des perceptions et des comportements de la part de tous les usagers, mais qui peut être source de tensions et d'erreurs.

En particulier, les interactions entre vélos et piétons en ville sont encore insuffisamment connues. Elles doivent être étudiées pour pouvoir les appréhender pleinement et identifier des solutions pour résoudre les tensions et promouvoir un partage de la voirie sûr et serein.

Le projet PRIS a pour objectif d'apporter des premiers éléments pour ces futures solutions. Ce projet pluridisciplinaire se focalise sur l'étude des interactions cyclistes/piétons en milieu urbain, au travers de la mise en place d'expérimentations *in situ*.

La question des interactions est abordée sous deux angles complémentaires. Le premier concerne la perception subjective, par la passation de questionnaires sur la perception et l'évaluation des interactions par les piétons et les cyclistes. Le second s'attache au comportement, par le développement d'un observatoire vidéo stéréoscopique des trajectoires dédié aux cyclistes et aux piétons.



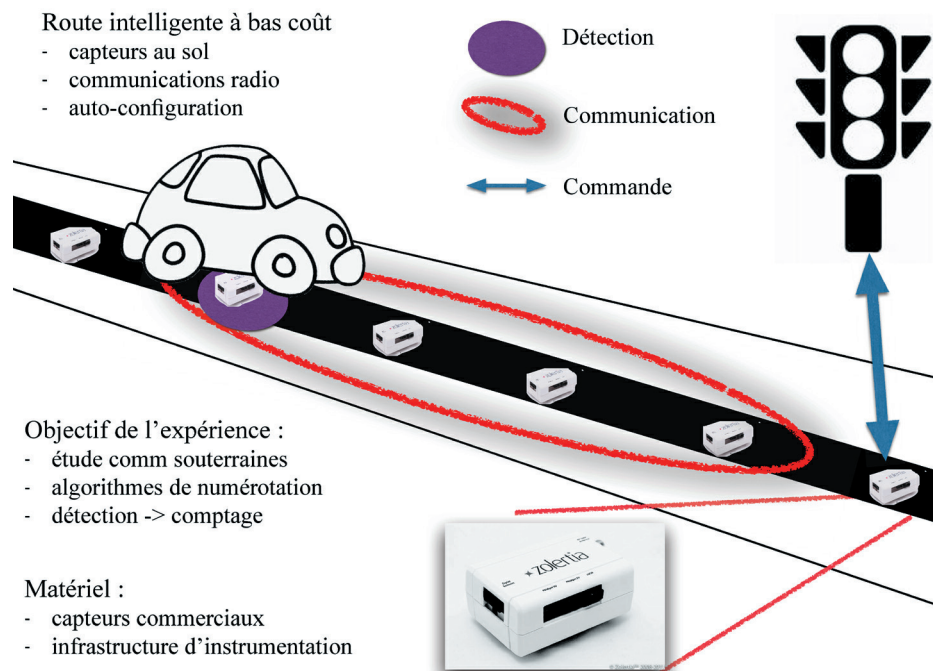
À l'issue des traitements et de l'analyse des trajectoires, les résultats permettront de mieux comprendre les comportements cyclistes vis à vis des piétons, et de proposer des pistes pour améliorer ces comportements. Le projet PRIS implique deux laboratoires de deux départements de l'Ifsttar, le laboratoire LEPSIS¹ de COSYS² et le laboratoire LPC³ de AME⁴.



¹ LEPSIS : laboratoire exploitation, perception, simulateurs et simulations
² COSYS : département composants et systèmes
³ LPC : laboratoire de psychologie des comportements et des mobilités
⁴ AME : département aménagement, mobilité et environnement

Route intelligente, détection de véhicules*

À l'heure de la densification urbaine, la surveillance de l'activité routière apparaît comme essentielle et ce, particulièrement dans les pays en développement. Objectif de cette surveillance : contrôler efficacement le trafic et réduire la congestion routière à l'entrée des agglomérations. Les avantages des outils développés sont nombreux : diminution de la consommation d'énergie fossile, réduction de la pollution atmosphérique engendrée par les véhicules, prévention d'accidents, etc.



Les grandes métropoles des pays industrialisés ont largement investi dans des infrastructures souvent lourdes et coûteuses en termes de construction et de maintenance afin de permettre la mise en place de ces dispositifs de surveillance. Mais ces derniers n'offrent actuellement qu'une information basique. Motivées par l'émergence des politiques de transitions énergétiques, de nouvelles initiatives se fondent sur une instrumentation plus précise de la route à l'image du projet Route de 5e Génération.

Cependant, les pays en développement n'ont pas les moyens financiers et techniques d'installer de telles infrastructures qui nécessitent du personnel qualifié et des frais de maintenance élevés. Des solutions à bas coût, permettant néanmoins d'observer les véhicules passant sur un tronçon, routier sont étudiées par le consortium Sense-City.

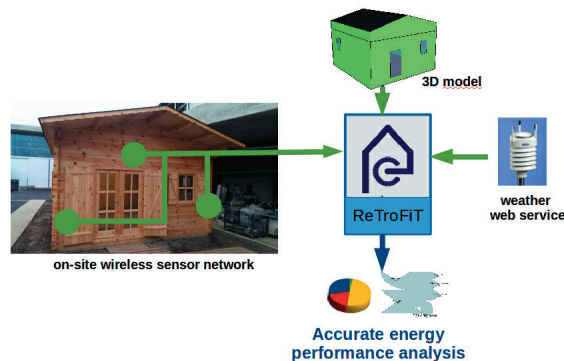
Dans le cadre de la mini-ville communicante, est développé un réseau de capteurs aux performances énergétiques telles que, durant plusieurs années, l'exploitation se fait sans maintenance. Ce réseau utilise un ensemble de protocoles auto-configurés, auto-organisés, auto-gérés et peut être installé par du personnel non expert.

L'objectif final de cette expérience est de définir le fonctionnement d'un réseau radio à fleur de route, pour faciliter le développement de mécanismes autonomes énergétiquement efficaces, exploités à moindres coûts.

* Travaux URBANET de l'INRIA

Instrumentation en temps réel du comportement énergétique d'un bâtiment

La hausse du coût de l'énergie entraîne une précarisation des ménages et accentue la dépendance énergétique des pays européens. Le parc de bâtiments constitue un des gisements principaux d'économies énergétiques potentielles. La rénovation thermique des bâtiments fait donc partie des 5 grands axes de la transition énergétique. Selon l'ADEME, cette ambition nécessiterait des investissements d'environ 40 milliards d'euros par an durant 40 ans. Au niveau européen, les investissements pourraient atteindre entre 250 et 700 milliards d'euros par an selon le scénario envisagé. A plus court terme, les exigences croissantes des diverses réglementations thermiques et l'apparition de labels incitatifs nés en réponse à ces contraintes réglementaires engendrent petit à petit une amélioration des performances réelles des bâtiments.



Cependant, force est de constater aujourd'hui l'absence d'approches systémiques qui permettraient une meilleure coordination entre la conception, la construction et l'exploitation du bâtiment. L'ensemble du secteur s'accorde aujourd'hui à dire que des outils de mesure pour mieux évaluer, analyser et optimiser le comportement thermique des bâtiments amélioreraient drastiquement les pratiques. L'ajout d'intelligence numérique dans les bâtiments rend désormais possible la mise en place de ce type d'outils de mesure à un coût compatible avec les contraintes du terrain.

Un exemple d'une telle réalisation est présentée dans le cadre du premier scénario de ville communicante du projet Sense-City. Le système de mesure repose sur quatre éléments :

- un ensemble de capteurs installés dans le bâtiment, dont des capteurs de température et de mesure de consommation: les données sont centralisées grâce à un récepteur relié au réseau internet ;
- des données provenant de fournisseurs extérieurs telles que des données météo ;
- un modèle géométrique 3D du bâtiment ou logement qui fait l'objet de la mesure ;

Le traitement des données est réalisé grâce à des algorithmes mathématiques connus sous le nom de « problèmes inverses ». À partir des données mesurées, ils permettent de calibrer finement les paramètres des modèles énergétiques du bâtiment utilisés, modèles numériques qui reposent ici sur une représentation 3D de l'espace mesuré. Grâce à cette approche, ces modèles constituent une réplique fiable de la réalité. On peut ensuite les exploiter pour produire, en continu, une cartographie des flux d'énergie au sein du bâtiment, puis pour déterminer l'origine des déperditions énergétiques et enfin pour mieux adapter le fonctionnement du bâtiment aux usages de ses occupants et aux conditions climatiques.

Les applications de ce type de systèmes de mesure sont multiples. Outre leur caractère informationnel qui incite les usagers à une utilisation plus sobre de l'énergie, ils peuvent être utilisés pour le diagnostic préalable à des travaux de rénovation, pour la vérification des performances après travaux ou encore pour la gestion optimale automatique des équipements des bâtiments.

Instrumentation thermique en extérieur par thermographie infrarouge connectée



Vue d'ensemble de l'instrumentation déployée sur site

Cette expérimentation s'intéresse au suivi des émissions thermiques des bâtiments et des infrastructures de transport à énergie positive (par exemple la route solaire et/ou la route chauffante, développées dans le cadre du projet Route de 5e Génération).

Dans le bâtiment, ces émissions sont par exemple liées aux fuites thermiques et permettent d'identifier depuis l'extérieur et ce sans perturbation des habitants ou usagers, les cibles d'amélioration énergétique du bâti. Pour les infrastructures de transport, elles détectent automatiquement les dégradations et procèdent à une analyse fine des performances des solutions de gestion énergétique co-intégrées aux infrastructures.

Le suivi de l'état thermique des structures s'appuie sur des caméras thermiques utilisant des détecteurs d'infrarouges. Le coût de ces systèmes a depuis quelque temps diminué considérablement, et ces derniers deviennent désormais envisageables pour des applications du quotidien. La généralisation de ces applications nécessitent la levée de différents verrous technologiques : la collecte en temps réel des mesures des caméras thermiques qui implique la gestion de gros volumes de données ; la décor-

relation des effets climatiques (conditions météorologiques sur le lieu de mesure, flux solaire ...), indispensable lorsqu'on s'intéresse aux effets thermiques ; l'analyse automatisée et en temps réel des données pour fournir en direct des informations aux exploitants.

L'expérience présentée dans le cadre de ce premier scénario de pilotage et d'exploitation de caméras thermiques à bas coût et de plein champ, autrement dit couvrant une surface très large, couplés à un suivi détaillé des paramètres environnementaux (température, hygrométrie, vitesse et direction du vent, rayonnement solaire, pluviométrie). L'architecture matérielle et logicielle étudiée et déployée sur site permet à la fois l'intégration d'une caméra thermique à un système temps réel de collecte de données, la réalisation en temps réel de corrections sur les mesures à partir des données environnementales, et des outils de reconstruction thermique des propriétés du bâti par modèles numériques.



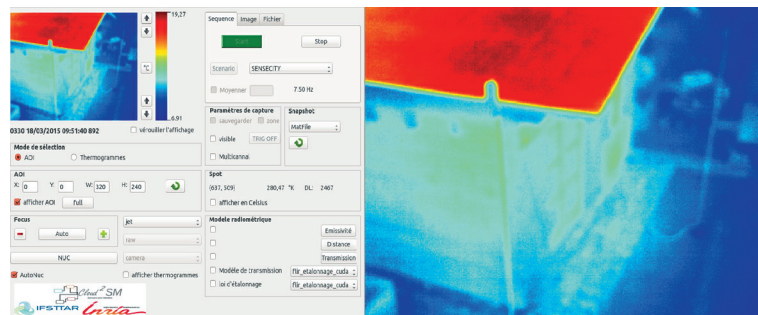
Vue de la tourelle avec mini caméra thermique IR (à gauche)

Vue du mât de mesure équipé du capteur de mesure du flux solaire et d'une station météo -Température, humidité, vent, Pression... - (à droite)

Instrumentation thermique en extérieur par thermographie infrarouge connectée

L'expérience fournit ainsi un exemple des nouvelles solutions de mesure pour l'énergétique du bâtiment à base de capteurs de nouvelle génération à bas coût, sans contact et contrôlable à distance via un portail Web. Elle permet également d'étudier et de développer des modèles d'identification de paramètres thermiques, par exemple les performances thermiques des parois d'un bâtiment, et de quantifier les performances et limites des solutions proposées.

Le système développé, qui associe des mesures sans contact et des modèles de calcul, se veut complémentaire d'approches développées sur la base de techniques de mesure économiques mais intrusives (c'est-à-dire par des capteurs positionnés à l'intérieur des bâtiments).



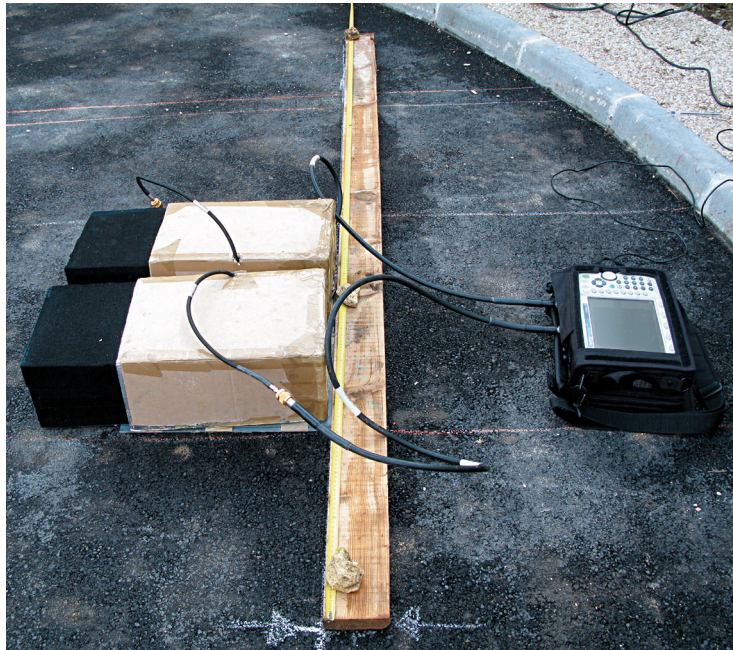
Vue de l'interface graphique de contrôle du système de thermographie infrarouge (à gauche)

Zoom sur l'image thermique du chalet (à droite)

Détection d'objets enterrés par géoradar*

Le géoradar est un système d'antennes d'émission et de réception couvrant une très large bande de fréquences (0,460-4 GHz), qui utilise les ondes électromagnétiques pour pénétrer un milieu de façon non destructive.

Le géoradar permet d'effectuer de l'imagerie en le déplaçant à la surface du sol. Ce sont les variations de propriétés diélectriques dans le milieu qui produisent la réflexion des ondes et donc leur détection à l'aide de l'antenne de réception. Les principaux obstacles à la pénétration des ondes sont la présence significative d'eau et d'argile.



La grande largeur de bande permet d'accéder à des profondeurs variables, grande à basses fréquences et faible en hautes fréquences. La détection d'un objet est effectuée d'autant plus finement que la fréquence est élevée.

Le site comprend un emplacement à 2 zones comprenant 6 tranchées dans lesquelles soit des tuyaux soit des objets de type lame ont été enterrés. Des objets diélectriques et conducteurs de dimension latérale réduite (de 2 à 6 cm), situés à des profondeurs variant entre 10 et 50 cm sont positionnés dans les 2 zones.

L'objectif des mesures par géoradar est d'étudier la détection de ces objets en fonction de différentes polarisations d'antennes (TE, TM ou croisées). La difficulté tient au fait que le sol multicouches n'a pas de caractéristiques diélectriques préalablement connues, que les tranchées sont remplies d'un sol différent du sol naturel, que certains objets ont des propriétés diélectriques proches de celles de l'air, et qu'ils sont de petite dimension latérale. Il est envisagé de poursuivre des développements en traitement de signal et d'images pour être capable de caractériser (profondeur, type d'objet diélectrique ou conducteur, dimension latérale) ces objets en présence de différentes configurations de polarisations. Aussi, la comparaison de réponses issues de différentes antennes a été initiée.

* Travaux du laboratoire instrumentation, simulation et informatique scientifique (LISIS) de l'Ifsttar et du laboratoire Géophysique et évaluation non destructive (GeoEND) de l'Ifsttar

Instrumentation du béton par nanocapteurs noyés*

La lutte contre le réchauffement climatique est un des moteurs de la Construction Verte : désormais les matériaux sont moins polluants à fabriquer et plus faciles à recycler. Ils peuvent être fabriqués à partir de matières premières elles-mêmes recyclées et présentent aussi des fonctionnalités additionnelles. Par exemple une meilleure isolation thermique ou acoustique, ou encore des capacités de réduction de la pollution de l'air.

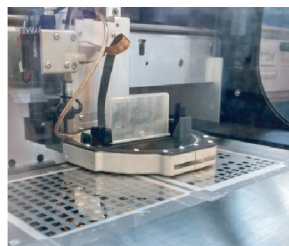
Tous ces facteurs contribuent à réduire significativement l'impact environnemental de la construction. L'inconvénient est qu'en contrepartie, l'on dispose de retours d'expériences amoindris sur la durée de vie des structures qui utilisent ces matériaux innovants. En compensation, de nombreuses techniques de suivi en temps réel de l'état des structures se sont développées. Elles reposent sur des capteurs placés en surface des ouvrages qui détectent les endommagements importants des structures et permettent ainsi de déclencher les actions de maintenance.

L'objectif recherché est la détection précoce des dommages, quand leur extension est encore micrométrique. Ils sont alors moins coûteux à réparer. Pour parvenir à ce but, il est nécessaire d'utiliser des capteurs très sensibles, sans fil et massivement distribués au cœur des structures. Les enjeux à relever pour leur développement sont nombreux.

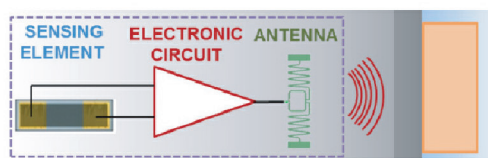
Par exemple l'autonomie énergétique, la communication, l'exploitation fine des données ou encore le conditionnement des capteurs.

Le projet Sense-City réalise pour la première fois une démonstration de nanocapteurs noyés en béton directement avec leur électronique de conditionnement. Il s'agit de 10 capteurs de température et de déformation à base de nanotubes de carbone imprimés par jet d'encre sur un substrat polymère. Les capteurs sont conçus pour détecter des fissurations de l'ordre de 10 μm . Les mesures des nanocapteurs, en place depuis déjà plusieurs mois, sont comparées à celles de 13 capteurs commerciaux également noyés. Un tag RFID spécialement conçu pour permettre la communication sans-fil de ces capteurs a été également noyé dans la dalle et est lui aussi toujours opérationnel après plusieurs mois d'expérimentation.

Le déploiement de ces capteurs dans la mini-ville Sense-City permet de comprendre l'interaction des capteurs avec les matériaux, d'identifier les facteurs qui perturbent les mesures afin de trouver des solutions techniques, et d'optimiser les protocoles de conditionnement et d'étalonnage des capteurs. Ces éléments seront critiques pour les déploiements futurs de cette technologie.



Fabrication en série de nanocapteurs par jet d'encre



Électronique noyée pour communication sans fil



Détection de l'ouverture de microfissures dans le béton



Installation des capteurs noyés dans Sense-City



Vers des structures connectées plus sûres et plus vertes

* Travaux réalisés par le laboratoire instrumentation, simulation et informatique scientifique (LISIS) de l'Ifsttar, le laboratoire de physique des interfaces et couches minces (LPICM) de l'École Polytechnique et le CNRS, l'UPEM

Contact presse : Émilie Vidal

Tél. : 01 81 66 82 15 - Mobile : 06 19 71 21 95 - emilie.vidal@ifsttar.fr

Ifsttar, siège

14-20, boulevard Newton
Cité Descartes - Champs-sur-Marne
77447 Marne-la-Vallée CEDEX 2

www.ifsttar.fr

« *Suivez toute l'actualité de l'Ifsttar sur Facebook et Twitter* »

Mise en page : Ph. Caquelard, *Ifsttar*

