

## GT Transition écologique – Ville durable Compte-rendu de la réunion 2 du 19 mars 2024

vf du 26.07.2024

### Présents :

**Président du GT** : Michael Matlosz (Université de Lorraine - Académie des Technologies)

**Conseillère scientifique** : Anne Ruas (UGE / ANR)

**Participants** : cf annexe

**ANRT** : Clarisse Angelier (déléguée générale), Nadège Bouquin (directrice de projet)

### Ordre du jour :

- **Introduction** : Actualités DUT et Groupe miroir Ville durable  
Michael Matlosz, président du GT, et Nadège Bouquin (ANRT)
- **Impacts climatiques de la végétation en ville : état des connaissances et travaux actuels, enjeux des recherches à venir**
  - Marjorie Musy - Directrice de recherche, CEREMA
- **Rafraîchissement urbain : solutions innovantes et pistes de recherche**
  - Stéphanie Vallerent - Directrice adjointe Climat et Territoire, ACTIERRA
- **Impact de la végétation sur la qualité de l'air**
  - Karine Sartelet - Directrice de recherche, CEREAs – Ecole nationale des ponts et chaussées
- **Bioclimatique et qualité de l'air : enjeux opérationnels et défis scientifiques**
  - Anthony Danneyrolle - Directeur du département Hydraulique Environnement  
Ecoconception, ARTELIA
- **Discussion / tour de table**  
Autres exemples et bonnes pratiques ; synthèse des enjeux clés de recherche et d'innovation

### Introduction - Michael Matlosz et Nadège Bouquin

Le président Michael Matlosz souhaite la bienvenue aux participants et remercie les intervenants d'avoir accepté de venir partager leur expertise et leurs visions lors de cette deuxième réunion du GT, qui va permettre d'aborder le premier des trois angles thématiques qui seront traités concernant les enjeux et conditions du développement de la nature en ville : « Climat et qualité de l'air ».

Réunions suivantes : Gestion des eaux urbaines (23 avril) et gestion des sols urbains (17 juin).

Pour mémoire, la réunion de lancement (27 février) a donné lieu à une dépêche AEF - *Ville intelligente* le 28/3 : <https://www.aefinfo.fr/depeche/708123>

Le Président Matlosz rappelle que le GT s'attache à développer la participation des acteurs français aux AAP annuels du partenariat DUT dont l'ANRT est membre (ainsi que du Groupe miroir national Ville durable).

L'AAP 2024 sera lancé en septembre prochain. Le GT s'est focalisé sur l'un des trois piliers de DUT, le pilier CUE (Circular urban Economies). Trois thématiques sont pré-identifiées pour l'AAP 2024 concernant CUE :

- Cycle de l'eau urbaine
- Défis de la biodiversité urbaine
- Outils de mesure et de management

Dernier rappel concernant DUT : la conférence biennale DUT 2024 se tiendra à Bruxelles le 11 avril 2024 – infos envoyées aux membres du GT.

Nadège Bouquin rappelle d'autres actualités de DUT et du Groupe miroir :

- L'ANRT et le Groupe miroir Ville durable ont contribué à la préparation du Livre Blanc « DUT, a transformational R&I programme : conclusions for future need for action » - à paraître au printemps ou à l'été 2024. Ce Livre blanc est intéressant dans la mesure où il propose des pistes d'action pour renforcer le passage de la recherche au terrain en matière de transformations urbaines.
- Le Groupe miroir travaille à renforcer la coordination des activités nationales et européennes en matière de programmation de la recherche sur la ville durable : calendriers, participation aux Steering groups thématiques etc.

Le président invite ensuite la première intervenante à prendre la parole.

**Marjorie Musy – Directrice de recherche, CEREMA**  
**Impacts climatiques de la végétation en ville | Etat des connaissances et travaux actuels - Enjeux des recherches à venir**

### 1. Les enjeux

On constate que les vagues de chaleur se produisent à une fréquence et avec une intensité croissantes. Le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU) renforce ce phénomène : par exemple, à Berlin ou à Nantes, la température en ville a atteint 7° supplémentaires en fin de journée et pendant la nuit, par rapport à la température hors de la ville. Il y a un enjeu de santé publique. La question est alors de savoir mettre en place et évaluer des solutions de rafraîchissement urbain, dont des solutions fondées sur la nature.

### 2. Les échelles

Il faut distinguer deux échelles.

- L'ICU se mesure sur une grande échelle, celle de la ville.
- Le confort thermique se mesure sur une petite échelle : celle du corps et de son environnement immédiat. Beaucoup de choses peuvent jouer : est-on à l'ombre ou au soleil, etc.

Ainsi, parler d'ICU à propos d'une place, par exemple, n'a pas vraiment de sens, on est plutôt à l'échelle du confort thermique, même si l'aménagement de la place peut jouer un rôle en termes d'ICU.

### 3. Les méthodes d'étude

#### a/ La mesure

Les mesures peuvent être fixes, à l'échelle du confort thermique ou de l'ICU (exemple : réseau de capteurs à Toulouse Métropole), ou mobiles :

- à l'échelle du confort thermique : système de sac à dos par exemple, porté par quelqu'un qui se déplace (système Cityfeel de Hepia, en Suisse) ;
- à l'échelle de l'ICU : en voiture (Thermoroute du Cerema) ou à vélo (exemple d'une campagne de mesure à l'Université de Dijon).

La mesure n'est jamais évidente, immédiate et directe : on ne mesure jamais directement ce qui est juste en-dessous du capteur : on mesure l'effet d'un environnement, d'un ensemble de sources qui

n'est pas toujours facile à identifier ; suivant la vitesse et la direction du vent, les sources sont situées en amont à une distance plus ou moins grande.

#### b/ La simulation

A l'échelle du confort thermique : on peut faire des simulations à petite échelle où on représente bien toute la géométrie (exemple de l'outil Solene-microclimat, dont le développement est maintenant porté par le CEREMA. Il peut par exemple servir à mesurer l'impact des climatisations sur le réchauffement aux alentours des façades où se trouvent des climatiseurs, et en retour l'impact de ce réchauffement sur la performance du climatiseur lui-même et sur le besoin en froid des bâtiments. Pour une simulation en période de canicule pour le centre de Lyon, on a obtenu un réchauffement en façade de 2 à 3°C, et un besoin augmenté de 10% alors que le COP (Coefficient de performance était lui réduit de quelques %.

A l'échelle de la ville / ICU : exemple du modèle TEB de MétéoFrance (où on ne représente pas tous les bâtiments), qui permet de réaliser des scénarios d'impact de la végétalisation sur la température urbaine : toits végétalisés, pelouse, pelouse et arbres... à l'échelle d'une agglomération.

#### c/ La télédétection

A l'échelle du confort thermique : thermographie infrarouge des revêtements au sol en fonction de leur albedo (ex. Dijon). On peut ainsi comparer des solutions pour des surfaces comme des routes.

A l'échelle de la ville/ l'ICU : analyse des images satellites (exemple : images Landsat à Albi) .

Cette télédétection n'est pas simple à analyser non plus car il faut connaître toutes les caractéristiques des matériaux, et il y a beaucoup de corrections à faire. On ne voit pas non plus toutes les surfaces.

L'ONERA estime à 4 ou 5° la marge d'erreur dans les températures ainsi relevées. Et il ne s'agit que de températures de surface, pas de températures d'air : le bitume d'une route au soleil sera aussi chaud dans l'ICU d'une grande ville et dans un village, mais la température de l'air ambiant sera très différente, elle ne peut pas s'en déduire directement.

#### Synthèse des avantages et inconvénients de ces trois méthodes :

	Avantages	Inconvénients
Mesure	- Accès à une réalité de terrain	- Période de temps - Représentativité des points de mesure - Fiabilité de la métrologie
Simulation	- Accès à beaucoup de résultats - Possibilité de faire des scénarios	- Modèles rarement validés - Disponibilité de la donnée sur les matériaux
Télédétection	- Couverture spatiale - Données peu coûteuses	- Uniquement températures des surfaces visibles - Fiabilité des températures (dépendante emissivité des matériaux)

- « Période de temps » : il y a beaucoup d'aléas car la ou les périodes pendant lesquelles sont réalisées les mesures peuvent être spécifiques, non représentatives d'une réalité habituelle (« été pourri » deux années de suite, etc.)
- Fiabilité de la métrologie : toutes les mesures montrent que l'on a 3 degrés de moins dans des zones très arborées, mais certains collègues mettent cela sérieusement en doute : est-ce vraiment la température d'air qui est plus fraîche ou est-ce l'effet de l'ombre sur le capteur (ou plus précisément son abri) qui au soleil monte en température ?
- Les modèles ne sont généralement pas validés, notamment les modèles à petite échelle. Ils ne sont en général pas évalués sur les températures de surfaces qui varient beaucoup mais sur les températures

d'air qui, elles, varient peu.. Définition de « validation » ? il n'y a pas de norme. Il y a une référence internationale pour la thermique du bâtiment, mais il n'y en a pas pour la microclimatologie. On essaie de le mettre en place dans le cadre d'annexes de l'Agence internationale de l'Energie mais ce n'est pas facile (enjeu pour certains collègues qui ont déjà commercialisé des modèles...).

- Fiabilité des températures en télédétection : peut comporter d'énormes marges d'erreur en fonction des matériaux. Une erreur de 0,05 % sur l'émissivité (caractéristique d'émission d'un matériau dans l'Infrarouge) peut aboutir à des différences de 15 ° !

#### 4. Les solutions de rafraîchissement urbain (résultats pour quelques SFN)

Le CEREMA avait produit 17 fiches sur ces solutions dans le cadre d'un travail pour l'ADEME. 3 catégories de solutions : fondées sur la nature (traitées ici) ; solutions « grises (techniques) ; solutions douces (organisation).

##### Solutions fondées sur la nature

7 fiches : arbres, parcs, pelouses et prairies, toitures végétalisées, murs végétalisés, plans d'eaux et rivières, noues.

Le niveau de connaissance scientifique a été évalué pour chacune de ces solutions : il est plus fort pour les parcs (mais avec des résultats difficiles à extrapoler), plus faible pour les pelouses/prairies et les noues, et moyen pour les autres.

##### Exemple de l'arbre :

- Pour un arbre isolé :
  - Ombrage ou évapotranspiration, quel effet domine ? Pour un arbre isolé, l'effet de l'ombrage est prédominant.
  - Paramètres qui modulent le rafraîchissement des surfaces : densité de feuillage, espèce de l'arbre, environnement (sol, nature et albédo des surfaces environnantes, disponibilité en eau : en fonction du sol, avec un bon mélange terre-pierre, l'évapotranspiration peut être multipliée par 5, et la densité de feuilles est multipliée par 2). Une sélection soigneuse des arbres est nécessaire.
  - Les études s'accordent sur un effet maximal de - 3°C sur la température de l'air pour des arbres par des latitudes moyennes.
    - A l'échelle de la rue :
      - l'effet rafraîchissant dépend de la forme de la rue et des arbres. Effet de - 2 à - 3 °
    - A l'échelle de la ville : Météo France, dans un scénario très arboré de Paris (couverture de 75 % des espaces libres) : rafraîchissement de 2,5 ° de la ville lors de la canicule de 2003. Cette simulation ne prenait en compte que l'évapotranspiration, on arriverait sans doute à un peu plus en ajoutant l'effet de l'ombrage.

##### Exemple des parcs :

Intéressant car on trouve de tout en termes de résultats ; il n'est pas facile de statuer.

- Plus les parcs sont arborés, plus ils sont frais – normal ;
- Les parcs enherbés peuvent être plus chauds que les zones construites environnantes
- La taille des parcs est corrélée avec l'effet de rafraîchissement, mais la relation n'est pas linéaire et des tailles seuils au-delà desquelles l'effet n'augmente plus sont mises en évidence.
- Forme : les petits parcs allongés de forme irrégulière ont un faible rafraîchissement
- Résultats : très variables. - 5,9 ° à Göteborg. Pékin : - 0,15 avec pelouse non irriguée, - 0,7 à - 1,2 ° avec pelouse irriguée, - 4,2 ° en parc arboré.

##### Exemple des toitures végétalisées :

- A l'échelle du toit :

- Les toitures extensives, couvertes de sedum (faible épaisseur, plantes grasses), ont un faible effet de rafraîchissement par évapotranspiration. Le toit peut même être plus chaud que l'air (stock d'eau dans le substrat limité > évapotranspiration faible et lente).
- Les toitures intensives ont un effet de rafraîchissement généralement limité à 1m au-dessus du toit
- A l'échelle de la ville  
Selon la plupart des études : effet négligeable sur l'ICU au niveau du piéton, quel que soit le climat. Pour avoir un petit effet, il faut cumuler au moins toitures + façades végétalisées. Météo France : - 0,5° dans certaines rues si tous les toits plats de Paris étaient en végétation irriguée (peu réalisable).

## 5. Conclusion et perspectives

- **Des méthodes d'étude en construction, avec encore peu de méthodes fiables et transférables.**  
Quand on est sollicités par des collectivités par exemple, on marche sur des œufs : on a peur de fournir des résultats qui ne seraient pas fiables ; on a un vrai besoin de validation.  
On constate un peu plus de moyens pour la recherche sur ces sujets aujourd'hui, mais il y a encore assez peu de chercheurs qui y travaillent. Il y a un problème d'équilibre entre le nombre de ceux qui travaillent par exemple sur le bâti et la construction d'une part, et les enjeux du climat urbain d'autre part ; ou sur la production d'énergie d'un côté et la sobriété de l'autre...
- Beaucoup d'études pour évaluer les solutions de rafraîchissement à différentes échelles mais leur impact dépend fortement de nombreux facteurs (forme urbaine, climat, matériaux...). **La comparaison et la généralisation restent difficiles.**  
Ce que l'on pourrait peut-être arriver à faire, c'est parvenir à **ordonner des solutions dans différents contextes**, quand on aura mieux compris comment ça marche ; généraliser complètement en revanche ne semble pas possible. D'où l'intérêt des outils d'études, des protocoles de mesure bien mis en place.
- **Peu de résultats sur le confort thermique** ; pas simple. On le mesure avec nos corps, en niveau perçu, mais on n'y parvient pas vraiment avec des outils de mesure.

### Perspectives :

- Un besoin d'outils de simulation sérieusement validés : c'est un enjeu important.  
Par ailleurs, pour le transfert, il faut compter 1 mois pour faire la maquette, 1 semaine à 15 jours de simulation ; c'est long et donc un peu problématique pour un bureau d'études...
- Besoin d'améliorer les moyens de mesure et de capitaliser des mesures propres. Besoin d'échanger entre tous ceux qui ont développé des outils et fait des mesures, pour voir comment on a fait, etc.

### DISCUSSION

**Question** (Stéphanie Le Meur, Kardham) : pour des mesures « propres », est-ce que cela pourrait se faire à travers des référentiels, des mesures très définies qui serviraient de cadres de référence homogènes ?

**Réponse** M. Musy : on peut regretter que dans de nombreux projets (ANR etc.) les chercheurs ne mettent pas leurs mesures à disposition. Il existe des mesures « propres » qui pourraient servir à tout le monde, dans des conditions comparables, mais pas encore assez de partage. Heureusement, la mise à disposition augmente un peu...

**Question** (Tudal Sinsin, Altereo) : Avez-vous connaissance d'études sur les méthodologies de validation des simulations ?

Réponse M. Musy : Pas vraiment. Dans le cadre du projet ANR [DIAMS](#), on a fait un premier benchmark pour comparer plusieurs modèles avec une approche progressive : on simule tous les phénomènes, puis phénomène par phénomène : le rayonnement, l'aérodynamique... et on compare à des outils de référence sur ces phénomènes. On va bientôt mettre ce benchmark à disposition, de manière à ce que chacun puisse s'y référer et se positionner par rapport à cela. On a aussi utilisé une campagne de mesure à Toulouse pour comparer plusieurs outils développés. Et on va proposer à l'AIE une initiative internationale pour la conception d'une procédure de validation, avec des étapes etc.

**M. Matlosz** : Il y a là toute la question des données, des simulations et de leur validation.

**Question (N. Bouquin)** : est-ce que la question de la validation de ces méthodes de simulation ne pourrait pas faire l'objet de recherches dédiées, à l'échelle européenne par exemple ?

**Réponse** – M. Musy : A ce jour, je n'ai pas encore trouvé d'AAP suffisamment théorique pour inclure cette question.

### Rafraîchissement urbain : solutions innovantes et pistes de recherche

**Stéphanie Vallerent** – Directrice adjointe Climat et Territoire, Actierra

**Lucille Alonso** – Chef de projet, Actierra

ACTIERRA est une filiale d'INGEROP (conseil en ingénierie) qui est dédiée à l'écologie.

Nous intervenons à des échelles très différentes : des villes entières, sur des plans d'adaptation, mais aussi des projets urbains avec 3 rues, une place et un mini-parc ; on doit tenir ces deux échelles. Nous devons répondre aux questions de nos clients, qui veulent des solutions donc nous avons besoin d'outils ; mais nous ne pouvons pas utiliser les modèles de la recherche, qui sont très précis mais longs à utiliser comme cela a été dit (-1 mois de maquette, 15 jours de simulation). Notre verrou est donc qu'il nous faut des modèles rapides (quelques jours) mais aussi suffisamment fiables.

Nous avons donc développé une panoplie d'outils, notamment avec un doctorant. Lucille Alonso va en parler.

#### Lucille Alonso

Le confort thermique est complexe car il est influencé par de nombreux facteurs, environnementaux et individuels : température de l'air, humidité relative, radiations, vitesse de l'air ; activité métabolique, habillement, adaptation.

Nous avons classé différents outils en fonction de leur coût, de leur dimension opérationnelle et de leur degré de résolution spatiale.

On retrouve les températures de surface et les extrapolations de données in situ, le Score ICU (outil développé par un opérateur privé) et divers types de modélisations.

Aujourd'hui, en termes d'ingénierie, les choix sont faits :

- Majoritairement sur la base de l'expérience
- Plus rarement, sur la base de simulations.

Le besoin serait d'outils simplifiés (pour les études en amont) et d'outils plus complets, pour la suite.

Sont utilisés souvent, par ordre de complétude/complexité croissant :

- Le Score ICU
- ICETool (IMET)
- SOLENE (ENVI-MET)

Une **thèse Cifre** a été lancée en 2021 par Ingérop-Actierra, par Merveil Muanda Lutete, sur le sujet : « **Evaluation des mesures d'adaptation de l'environnement urbain aux contraintes des évolutions du climat** ».

Les questions posées sont :

- Quelles solutions d'adaptation à la surchauffe urbaine mettre en œuvre ?
- Comment les évaluer ?
- Quels outils utiliser ?
- Comment comparer ces solutions, sur la base de quels critères (indices) ?

La thèse va évaluer une série d'outils de simulation (13 outils) en milieu urbain, sur une série de critères : échelle spatiale et échelle temporelle couvertes, temps de simulation, disponibilité sur le marché, usage (confort thermique / besoin énergétique), type de résultat...

- *Exemple d'outil : SOLVEIGH*
  - Plusieurs inputs : bâtiments, revêtements du sol et végétation, altimétrie, météo
  - Outputs : température moyenne radiante, indice de rayonnement, indice de confort (PET), température de surface
  - Avantages : assez rapide et fiable, open source
  - Limites : simplification pour calculer la température de surface (3 types de revêtements seulement) ; pas de cartographie concernant les indices de confort.
- *Exemple d'outil : ENVI-MET*

Modélisation avancée, outil qui ne peut pas être pris en main par tout le monde, il faut comprendre la prise en compte des phénomènes physiques. Les temps de calcul sont plus importants. Par ailleurs le modèle n'est pas validé. Un certain niveau d'expertise est requis pour une bonne exploitation du modèle.

Ces divers outils ont été testés lors d'une campagne expérimentale à l'été 2023, dans la rue expérimentale de Sense-City (Université Gustave Eiffel) : capteurs de température air et surface, capteurs de rayonnement, etc.

Différents scénarios ont été testés, avec divers types de bâtiments, de revêtements (plus sombres ou plus clairs) et de végétalisation (arbres alignés ou non...). Les résultats sont en cours de traitement.

## **Deuxième axe de R&D : Utilisation de l'IA et de données satellitaires dans les modélisations de température de l'air & confort thermique**

Travail de thèse de Lucille Alonso à Lyon, poursuivis ensuite dans des universités françaises et étrangères.

La solution développée permet d'obtenir des résultats précis à 1° C près, avec un gain de temps et d'argent. Elle a fait l'objet de publications et de présentations dans des conférences scientifiques internationales.

On s'est posé la question de la mesure car l'IA repose sur de l'apprentissage donc les données doivent être fiables. Il était donc important de faire les bons choix :

- Quels capteurs ?
- Quels types d'abris pour les capteurs ?
- Quel mode de recueil des données : mesures fixes, à pied, à vélo, en voiture... ?

En fait l'abri est encore plus important que le capteur, et la façon de mesurer encore plus car on peut « faire parler » la mesure un peu comme on veut. On peut assez facilement obtenir la mesure qu'on veut, en ajustant la façon de mesurer.

La méthodologie proposée permet de :

- Comprendre les interactions entre le milieu urbain et le climat

- Adapter l'aménagement en fonction de ces interactions
- Proposer des solutions d'atténuation, voire de rafraîchissement, pour limiter les canicules urbaines
- Avoir un suivi dans le temps pour apporter des mesures correctives.

Elle permet de :

- connaître précisément un territoire
- quantifier les bénéfices en termes de degrés gagnés
- implanter des solutions rafraîchissantes au bon endroit et à la bonne dimension
- gagner du temps dans l'impact rafraîchissant de la solution
- gagner de l'argent

Comment fonctionne la méthode de simulation ?

Prise en compte d'environ 40 paramètres en 3D : microclimatiques, du bâti, de surface et environnementaux.

La solution de machine learning et IA permet ensuite de modéliser le confort thermique (UTCI ou WBGT), avec une résolution de 10 m, et une précision entre 0,5° et 1°.

#### **Pistes de recherche en cours :**

- Quelle densité d'eau et de végétation est nécessaire sur le territoire pour avoir un impact significatif sur le confort thermique ? Avec la ville de Lyon. Etude de divers type de brumisateurs, de fontaines, d'espaces végétalisés.
- Suivi dans le temps des arbres de pluie et de leur impact sur le confort thermique - Avec la Métropole de Lyon. Suivi d'espaces avant réaménagement pour mesurer l'état initial, puis après, sur quelques années, à différentes saisons.
- Quel est l'impact du réaménagement d'un quartier EcoOasis sur le confort thermique ? Avec Eiffage Route.
- Quel serait le gain de l'apport de l'intégration de données de température de surface à 1m dans le modèle de confort thermique ? Avec Thalès et l'ONERA (stade du brainstorming).
- Faire converger les travaux de l'Université de Lyon, de Portland, de Tokyo Tech et d'Actierra (Ingerop) dans une (des) mêmes solutions, pour faire avancer ces travaux de façon plus rapide.

#### **DISCUSSION**

##### **Question (Anne Ruas) :**

Conseil pour les expérimentations à SenseCity : refaire les mesures sur plusieurs étés de suite pour limiter les biais de conjoncture météorologique.

Beaucoup d'outils ont été étudiés, il serait intéressant de préciser la question qui est posée à chaque fois. On peut utiliser un outil de simulation qui n'est pas parfait, mais en pouvant savoir qu'il est préférable à tel autre pour répondre à telle question. L'idée serait d'établir quelques recommandations d'usage en différentiel : c'est mieux si les capteurs de tel outil sont positionnés ici plutôt que là, s'ils sont mobiles de telle façon plutôt que de telle autre etc. Bref, il serait intéressant de viser des réponses méthodologiques adaptées à des questions précises.

*Réponse (Stéphanie Vallerent) : C'est le quotidien en ingénierie d'utiliser des outils imparfaits, pour fournir des réponses dans un temps court. On le fait, donc, en essayant de bien comprendre où sont les limites, pour avoir un regard critique sur ce qu'on sort. Ainsi, on peut avancer ; même si on n'élimine*

pas toutes les erreurs, on apprend peu à peu où et comment elles se produisent, comment les limiter, et on travaille pour essayer d'améliorer les outils à partir de là.

**Question (Mustapha Derras) :** les moyens des villes sont très variables : certaines grandes villes en ont beaucoup, mais pour la plupart d'entre elles, ils sont beaucoup plus limités. Les métropoles, c'est qu'un habitant sur 3 en France. Les autres villes doivent pouvoir agir aussi. Pour qu'elles puissent avancer, il est important que des outils existent, même imparfaits. En revanche, si des marges d'erreurs sont acceptables, les outils ne doivent pas donner des orientations erronées. Annoncer des baisses de 15° avec des couvertures végétales, si ça ne correspond pas à de vraies réalités, ce n'est pas acceptable.

**Réponse (Stéphanie Vallerent) :** ce qui est utile aussi pour ces villes, ce sont des guides méthodologiques, des kits opérationnels, pour savoir comment s'y prendre, quelles méthodes sont disponibles, comment choisir, etc.

### Impact de la végétation sur la qualité de l'air

**Karine Sartelet – Directrice de recherche, CEREA - Ecole nationale des ponts et chaussées**

Les **arbres urbains** ont beaucoup d'effets positifs en ville, avec un premier avantage : il y en a déjà beaucoup (plus de 200 000 arbres dans les rues et espaces verts à Paris, hors bois).

Ils rendent plusieurs services écosystémiques :

- amélioration du confort thermique (évapotranspiration et interception du rayonnement)
- limitation du ruissellement (interception d'eau et conservation de sols perméables)
- stockage du carbone (dans leurs tissus)
- favorisent la biodiversité
- amélioration du bien-être humain

les arbres représentent donc une utile solution basée sur la nature, pour améliorer la qualité de vie en ville et s'adapter au changement climatique.

La **pollution de l'air** a, quant à elle, des impacts négatifs multiples sur la santé humaine : (maladies aiguës et chroniques) avec un coût associé important – Sources : Agence Européenne de l'Environnement, Santé Publique France, Rapport du Sénat sur le coût économique et financier de la pollution atmosphérique, 2015.

- La pollution de l'air aux particules fines (PM2.5) est celle qu'il faut regarder en priorité en milieu urbain car elle est responsable de la majorité de l'impact sanitaire de la pollution de l'air. Elle a provoqué le décès de 253.000 personnes dans l'Union européenne en 2021, selon un rapport de l'Agence européenne de l'environnement (AEE)
- 52.000 décès prématurés sont attribuables à l'exposition au dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et 22.000 à l'ozone (O<sub>3</sub>)
- En France :
  - perte d'espérance de vie 15 mois dans les zones urbaines et 9 mois dans les zones rurales (Santé Publique France)
  - Entre 68 et 97 milliards d'euros par an pour la France de coûts sanitaires dus à la pollution de l'air.

Concernant les particules fines : **leur masse globale est réglementée mais leur impact sanitaire varie en fonction de la composition et de la taille des particules.**

Parmi les composés des particules : le carbone suie (BC) est un polluant émergent prioritaire selon l'OMS depuis 2021. Il est émis lors de combustion, le trafic, le chauffage ou l'usure des pneus.

D'autres composés sont aussi issus de la combustion, ou alors formés dans l'atmosphère (composés secondaires) à partir de composés gazeux : les composés organiques volatils. Ces COV peuvent être émis par exemple par les peintures, les parfums mais aussi **par la végétation.**

Dans les **modèles de qualité de l'air** locaux et régionaux, **les arbres urbains ne sont pas pris en compte** (sauf pour les grands bois). Il est donc **nécessaire de représenter les processus liés aux arbres dans les différents modèles**, afin de comprendre l'impact des arbres pour guider les politiques publiques d'aménagement du territoire, et pour améliorer la qualité de l'air

Ces questions ont fait l'objet du **Projet ANR sTREEt**: (01/11/2019 – 30/04/2024) Impact of sTress on uRban trEEs and on city air quality

Les travaux présentés ici sont largement repris de la thèse d'Alice Maison à l'École nationale des ponts et chaussées/INRAE, soutenue le 28/11/2023 (encadrement K. Sartelet et A. Tuzet).

Une **modélisation de la qualité de l'air** a été réalisée dans le cadre du **Projet H2020 RI-urbans** avec la chaîne de modélisation multi-échelles **CHIMERE-MUNICH**, qui a permis de simuler les concentrations de polluants depuis l'échelle européenne jusqu'à l'échelle de la rue (simulation du 6 juin au 31 juillet 2022) (été et campagnes de mesures) –, avec des tests de sensibilité du 13 au 26 juin.

L'impact des arbres sur la qualité de l'air a été étudié :

- **Effet thermo-radiatif** important (évoqué tout à l'heure)
- **Effet aérodynamique**
- **Dépôt** de la pollution sur les feuilles
- **Emission de COV**

**Effet aérodynamique** : les arbres ralentissent les écoulements de l'air dans la rue, les polluants qui sont émis dans la rue (notamment le dioxyde d'azote et le carbone suie) vont y être piégés, avec des concentrations qui augmentent. Le niveau d'impact dépend des caractéristiques de la rue et de celle des arbres<sup>1</sup>. Des paramétrisations ont été établies pour des réseaux de rue, à partir de simulations de mécanique des fluides.

**Dépôt de pollution sur les feuilles** dépend lui aussi des caractéristiques de l'arbre (LAI), et diffère selon les polluants. Des simulations de mécanique des fluides ont montré qu'il est **plus important que le dépôt sur les surfaces des rues (murs et chaussées) mais faible devant l'effet aérodynamique**.

**Emission de COV** : en présence de rayonnement, les arbres émettent des COV biogéniques (isoprène, terpènes), qui vont, en réagissant avec d'autres composés dans l'atmosphère, former des particules faisant partie des particules fines polluantes évoquées plus haut (PM 2.5). Ces émissions de COV sont aussi très liées à la santé de l'arbre et aux stress qu'il peut subir (hydrique, thermique).

Les COVb émis par les arbres varient selon les espèces d'arbres :

- Certaines espèces comme les platanes émettent surtout de l'isoprène, avec une influence potentielle sur la formation d'ozone.
- D'autres espèces comme les sophoras ou les chênes verts émettent plus de terpènes, avec une influence potentielle sur la formation d'aérosols organiques.

Cela pose la question de la nécessité de choisir les espèces d'arbres à planter en zone urbaine.

**Effets thermo-radiatifs** (voir présentation précédente) : ils augmentent selon la densité et la hauteur des bâtiments élevées, des matériaux utilisés (foncés, imperméables...) et de l'émission de chaleur anthropique ; d'où des températures plus élevées en ville, avec des îlots de chaleur urbains.

La majeure partie de l'énergie solaire sur les surfaces sèches est convertie en chaleur sensible, qui réchauffe le sol et l'air situé au-dessus. En été, les températures sur de telles surfaces peuvent excéder les 50°C.

---

<sup>1</sup> LAI des arbres (Leaf Area Index = indice foliaire d'un arbre) : surface des feuilles d'un arbre projetée sur une surface au sol. Equivaut à des m<sup>2</sup> de feuilles par m<sup>2</sup> de sol.

Les arbres rafraichissent les villes localement, par évapotranspiration et par interception du rayonnement solaire et la création d'ombre, qui permettent d'améliorer le confort thermique humain. Ces effets thermo-radiatifs ont un impact limité sur la qualité de l'air. Cependant, représenter les températures de surface de feuille dans la modélisation permet de simuler plus précisément les émissions de COVb..

### Ajout des arbres dans les modèles de qualité de l'air

On peut se demander pourquoi les arbres ne figurent pas dans ces modèles. Tout d'abord, il n'est pas facile de savoir qui ils sont, et où ils sont.

On a utilisé la base de données Arbres de la Ville de Paris, qui répertorie environ 70 % des arbres parisiens. En la croisant avec les modélisations et paramétrisations mentionnées (effet aérodynamique, dépôt, émission de COVb), **l'impact de ces arbres a été recherché, avec une simulation sans arbres urbains et avec arbres urbains.**

#### Résultats :

- Effet aérodynamique : sur 2 mois d'observation, on voit :
  - une augmentation des composés émis dans la rue (NO<sub>2</sub> , carbone suie) de près de 5 % en moyenne et jusque +37 % pour le NO<sub>2</sub>
  - une diminution des concentrations d'ozone (O<sub>3</sub>) dans les rues :- 2.3 % en moyenne dans les rues avec arbres et jusqu'à -23.2%
- Dépôt sec sur les feuilles : on observe une faible diminution des concentrations de gaz et particules (-0.6 % en moyenne et jusqu'à -2.5 %)
- Emissions de COVb : => augmentation des concentrations de particules organiques, qui oxydent par exemple le tissu pulmonaire (+ 5 % environ en moyenne et jusqu'à +11.5 %). L'impact est plus faible pour l'ozone (O<sub>3</sub> (+1 % en moyenne et jusqu'à +2.4 %)

On a essayé d'estimer les **liens entre microclimat, stress hydrique et qualité de l'air**, en couplant différents modèles : modèles de continuum sol-plante-atmosphère (INRAE), de climat urbain TEB (Météo France) et de QA MUNICH (CEREA) à l'échelle de la ville de Paris. Seuls les arbres d'alignement des rues ont été pris en compte.

Les arbres plantés dans des volumes de sol restreints souffrent rapidement de stress hydrique, ce qui diminue la transpiration et réduit l'effet rafraichissant des arbres. Même en période où l'eau ne manque pas, l'effet de rafraichissement est faible (- 0,12° à - 0,8°) ; il est encore plus faible en période de stress hydrique (- 0,02° à - 0,05°).

Des simulations modélisant explicitement la température des feuilles d'arbre montrent que **cette température est plus élevée que celle de l'air en période de stress hydrique, conduisant à une augmentation des émissions de COVb** (+ 36 % pour l'isoprène), par rapport aux simulations où la température des feuilles est supposée égale à celle de l'air.

#### Conclusion : conséquences sur les politiques publiques et recommandations pour la gestion des arbres en ville

En général, les villes ne prennent pas en compte les arbres dans la gestion de la qualité de l'air, mais certaines mesures pourraient être prises en ce sens.

- limiter l'implantation d'arbres avec des grands houppiers dans les rues à fort trafic, pour une canopée réduite – ou bien limiter le trafic ;
- assurer un bon approvisionnement en eau des arbres en été ; par exemple, mise en place de fosses plus perméables, de systèmes « arbres de pluie » ;

- limiter l'implantation d'espèces fortes émettrices de terpènes : sélection des espèces à planter. La Ville de Paris réfléchit par exemple à planter des chênes verts, plus résistants au stress hydrique ; mais ils sont aussi assez fortement émetteurs de terpènes.

### Pistes de recherche

- Les arbres urbains ont des impacts significatifs sur la qualité de l'air ; il est donc nécessaire de les prendre en compte de manière plus systématique dans la modélisation de cette qualité de l'air.
- Mieux caractériser la végétation urbaine et suburbaine avec le développement d'inventaire des arbres dans les municipalités, ou par exemple avec des approches par télédétection (qui a aussi ses limites puisqu'il faut connaître les espèces d'arbres pour estimer les émissions de COVb)
- Nécessité d'avoir plus de mesures expérimentales pour :
  - évaluer les paramétrisations du dépôt sec en milieu urbain pour les composés qui partitionnent entre la phase particulaire et gaz ;
  - mieux estimer les facteurs d'émission des COVb des arbres urbains, notamment pour les terpènes (parfois on se réfère à des arbres non urbains ; il faut mieux spécifier) ;
  - évaluer les paramétrisations du stress hydrique sur les émissions d'isoprène mais aussi des autres COVb.
- Améliorer les schémas chimiques pour représenter la formation des particules organiques à partir des COVb dans les villes du futures (moins de NOx du trafic, c'est-à-dire moins de trafic par combustion) : il faut représenter davantage de voies dans cette transformation.

### DISCUSSION

*[problèmes d'enregistrement]*

*Question (N. Bouquin) : La recherche en santé publique est-elle mobilisée pour contribuer à l'étude de ce sujet de l'impact des arbres sur la qualité de l'air et donc de la santé ?*

*K. Sarcelet : La qualité de l'air et la végétation en ville, ce sont des travaux sur lesquels il y a vraiment un blanc.*

### **Bioclimatique et qualité de l'air | Enjeux opérationnels et défis scientifiques**

**Anthony Danneyrolle** – Directeur du département Hydraulique Environnement

Ecoconception, Artelia

Artelia est un bureau technique dont l'objectif est de créer des solutions pour une ville vivable, économe, résiliente au changement climatique.

9000 collaborateurs, sur une grande diversité d'activités dans de nombreux pays. La société est indépendante et 100 % des actions sont détenues par les collaborateurs.

Sur ces enjeux d'adaptation au changement climatique, l'écoute des élus et des décideurs augmente, ainsi que leur volonté d'agir.

Nous agissons sur tous les **leviers pour le bioclimatisme urbain**, afin de rafraîchir les villes :

- **leviers biologiques** : trame verte et bleue, pleine terre, densité végétale, variété des strates de végétation, gestion des eaux pluviales, brumisation
- **leviers physiques** : formes urbaines, circulation du vent, matériaux et inertie thermique, trame brune
- **leviers humains** : activités, intensités d'usage, mobilité et transport, vulnérabilités et santé publique

Nous mobilisons aussi les concepts et solutions **du low tech** et des **co-bénéfices**, car nos solutions doivent tenir compte de leur **poids carbone, de leur simplicité, de leur reproductibilité**.

Nous intervenons parfois in situ, mais généralement nous travaillons sur les données disponibles, pour de la modélisation, des études, diagnostics, cartographies, définition d'outils de suivi (tableaux de bords...), de la conception de projet, avec définition d'objectifs, etc.

## Enjeux opérationnels et défis scientifiques

### 1. Rafraîchir la ville

Chaque ville a son climat : il y a donc d'abord un gros travail de définition du climat de chaque ville dans laquelle on va travailler. Et chaque ville aura un autre climat à l'avenir, qu'il va aussi falloir qualifier, car ce qu'on va construire sera encore là dans 80 ou 100 ans. Les choix que l'on fait aujourd'hui doivent être compatibles avec aujourd'hui et avec après-demain.

Exemple : la ZAC Arenas à Nice, dans laquelle nous intervenons en tant que bureau d'étude. Nous avons récupéré des études historiques et avons repris ce projet urbain, la maîtrise d'ouvrage souhaitant donner davantage de corps aux enjeux climatiques.

Dans les coups partis, il y avait études bioclimatiques disant qu'il fallait mettre des pavés à rétention d'eau pour restituer de la fraîcheur – à Nice, où il pleut très peu (voir pas l'été), ce qui posait question. Ce qui pêche dans de nombreux endroits en France, c'est de récupérer des données climatiques ; à Nice, nous avons eu la chance d'avoir des travaux existants, mettant notamment en évidence des données aérauliques avec l'existence d'un vent urbain descendant du Mercantour et vient rafraîchir ce quartier. Le nouveau plan masse du quartier a donc été conçu en tenant compte de cela, pour bénéficier de cette solution low-tech, naturelle.

Un enjeu scientifique important est donc la qualification climatique des villes à 2050 et 2100. Globalement, il y a un déficit de mesure, pour les ICU par exemple – et il est difficile pour les bureaux d'étude de les développer, car nous avons nous aussi un calendrier et des budgets serrés, qui ne correspondent pas aux nécessités de mesures in situ.

### 2. Planter des arbres

Les élus poussent à la plantation d'arbres. On a des projets qui deviennent assez incroyables dans le mauvais sens du terme : 8 ormes, ont été importés des Pays-Bas après une croissance de 15 ou 20 ans, sur la place de la Comédie à Montpellier, pour 300 000 euros (ormes + équipement des fosses) et 1,8 M de travaux de création de fosses.

Les élus nous sollicitent aussi par des élus ou autres acteurs qui souhaiteraient par exemple utiliser les espèces exotiques envahissantes pour rafraîchir la ville ; sur cette question des espèces à planter, il peut y avoir des tendances à faire des choses qui ne sont pas fondées scientifiquement (se mettre à planter des ailantes partout en ville...).

Pour planter des arbres, il faut aussi planter des **strates**. On en parle très peu mais elles sont nécessaires : strates arbustives, arborées, buissonnantes, et traiter les sols. On se bat beaucoup là-dessus. Globalement, beaucoup de travaux scientifiques portent sur les arbres, leur fonctionnement, les espèces, etc, mais assez peu sur les strates, les sols, les sous-sols. **Il y a un gap entre les études sur l'énergie et celles sur le climat ; et on retrouve ce type de gap entre les études sur les arbres et celles sur toutes les autres strates**. On a besoin de **SESAME**<sup>2</sup> dans toutes les régions et sur toutes les strates, c'est un outil précieux.

Idem sur les banque de graines, les pépinières, on manque d'effort collectif là-dessus ; idem pour l'évapotranspiration, on en parle beaucoup mais on manque encore de travaux ; ainsi que de l'aide à la décision.

<sup>2</sup> [SESAME](#) – Services EcoSystémiques rendus par les Arbres, Modulés selon l'Essence

L'Université de la Colombie-Britannique a développé une **règle des 3-30-300** : chacun devrait voir 3 arbres par sa fenêtre, 30 % des espaces publics autour de son logement devraient être ombragés par la canopée des arbres, et chacun devrait être situé à 300 m maximum d'un parc. Une étude a été menée à Barcelone sur l'impact sur la santé humaine de la cartographie issue de cette règle. Cela pourrait être appliqué en France, en attendant d'avoir davantage de données et de repères opérationnels. On a aussi connaissance de thèses intéressantes sur les services écosystémiques des arbres, sur lesquelles on aimerait avoir davantage de matière, pour mieux les valoriser.

### 3. Faire du scoring et du SIG

Beaucoup de gens nous demandent de qualifier le confort thermique et les ICU, par du scoring, du SIG. Tout cela a ses limites, comme on l'a vu ; mais il faut souligner que **les élus se saisissent très vite des outils de vulgarisation, avec toutes les bêtises que cela peut engendrer, du fait de la non-prise en compte de nombreux paramètres**. Exemple d'une place à Nantes, au pied de la Loire, orienté vers des vents dominants ; il y a tout ce qu'il faut pour un rafraîchissement urbain naturel, mais l'aérodynamique n'a pas été prise en compte dans le projet d'aménagement, il a complètement disparu derrière les représentations thermiques.

Le SIG : on parle beaucoup de cartographie des ICU mais seule la dimension thermique, statique, prédomine, on perd la dimension dynamique et on fait de l'aménagement « hors sol ».

**On utilise les outils que l'on a, scoring, ENVI-MET etc., avec leurs limites, mais au moins, quand on les connaît bien, on connaît aussi leurs limites et on travaille donc mieux avec** : on pondère, on explique, on ajuste...

Exemple de l'île Seguin à Paris : la mise en place d'un parc de plusieurs bâtiments a été testée d'abord en scoring, puis avec un outil ENVI-MET, plus multiparamétrique, qui a permis de confirmer les limites d'un parc étiré en longueur en termes de rafraîchissement, mais qui a également montré que dans des conditions de fort ensoleillement et faible vent, on se retrouve avec une zone de chaleur importante, même si elle est arborée. On a ainsi pu affiner les choses.

Le gros **verrou scientifique** constaté, c'est **l'articulation entre les modèles d'ICU, de confort thermique et de bâtiment**. Pour le bâtiment, la RE2020 va sortir et on va y aller à fond ; si personne ne les influence à l'échelle du quartier, nos outils n'étant pas compatibles avec les leurs, on va brasser beaucoup d'air – c'est le cas de le dire. Les préconisations vont être trop qualitatives à l'échelon urbain, et pour eux, à l'échelle de la pièce (bâtiment), ça ne va pas marcher. C'est un vrai sujet technique et scientifique.

### 4. Refaire la ville sur la ville

Une autre demande des élus, une autre dynamique urbaine, c'est de refaire la ville sur la ville : **ZAN, densifier** (vivable et désirable, ok).

Exemple du PLU bioclimatique de Paris : on va rajouter des étages. Problème : quand on fait des analyses et des outils statiques qui ne prennent pas en compte la qualité de l'air dans le choix des essences plantées et des formes urbaines, on se retrouve avec une augmentation des phénomènes « canyon ».

La tension sur cet enjeu d'adaptation de la ville au réchauffement climatique est renforcée par la grosse vague de densification qui est en passe d'arriver. Il faut loger les gens, et pas à la campagne – et là il y a un antagonisme très fort avec ces enjeux de végétalisation (alors qu'on manque d'eau), de rafraîchissement etc. Nous avons donc une très grosse pression pour aider à prendre les décisions. On essaye tant bien que mal de concilier les dynamiques, par le repérage des rues canyon, l'urbanisme aérodynamique. On croise les trafics routiers, les vents, les formes urbaines, la porosité, on utilise le végétal non pas pour freiner mais plutôt pour guider le vent dans les espaces urbains ; et cela nous permet de traiter tant bien que mal ce sujet des rues canyon.

### 5. La « fin de ville »

On a beaucoup de projet en « fin de ville » : aux franges urbaines, avec l'idée qu'elle n'ira pas plus loin, et qu'il faut aménager cette transition entre les espaces bâtis et les espaces de biodiversité au-delà. Il y a une tendance à penser les zones bâties comme « incrustées » directement dans les espaces arborés et les prairies alentours ; mais il y a une certaine courtoisie à avoir avec la biodiversité. Il faut une certaine distance, certains équipements à mettre en place pour que le gradient de biodiversité augmente au fur et à mesure que le gradient d'humain diminue. L'idée d'habiter la nature, il ne faut pas faire de thèse là-dessus ! Il faut trouver les moyens de laisser progressivement se développer la nature au plus près de la ville.

## QUESTIONS / DISCUSSION

---

**En complément des interventions précédentes, Gilles Betis présente le projet ISSU : Innovations et Solutions face à la Surchauffe Urbaine**

Le [projet ISSU](#) est un Projet National (PN), piloté par l'IREX, avec 70 partenaires nationaux, labellisé il y a quelques jours, qui comporte 3 workpackages :

1. **Caractérisation et optimisation technique des composants** constitutifs des solutions de rafraîchissement à l'échelle du laboratoire  
Ces composants sont soit des matériaux, soit des solutions fondées sur la nature.
2. **Evaluation de la performance globale des solutions**, à l'échelle d'un quartier ou îlot urbain. A partir d'un état de l'art, un cadre d'analyse multicritères est défini, pour une évaluation systémique avec mise en évidence des co-effets (bénéfices/risques)
3. **Construction et suivi de démonstrateurs**  
Capitalisation et valorisation de démonstrateurs existants (avec notamment l'animation d'un Club des démonstrateurs) ; structuration d'une filière des acteurs au service de l'innovation contre la surchauffe urbaine ; développement de 4 démonstrateurs territoriaux à Cachan, Dijon, Lyon et Saint-Etienne.

➤ Cf l'article rédigé par GB.

## DISCUSSION

Michael Matlosz : les interventions ont permis d'aborder de mêmes objets ou sujets, sous des angles divers, ce qui est très enrichissant.

On perçoit bien les difficultés, voire un certain désespoir face à la complexité des enjeux, qui a été exposée franchement. Bien entendu, il ne faut pas laisser craindre aux élus, responsables et citoyens que tout cela est trop difficile et que ce serait peine perdue d'agir pour essayer d'améliorer les choses.

Anne Ruas : On ne peut pas parler de « la » ville, mais « des villes » car elles sont très diverses, sur de nombreuses dimensions.

Elles ont aussi des niveaux de compétences très variables : certaines en ont déjà beaucoup, avec d'importants services dédiés, d'autres beaucoup moins, soit parce qu'elles sont plus petites, soit parce qu'elles ont moins investi ces nouveaux sujets ; cela conduit à des degrés d'appropriation très divers des enjeux, des objectifs, des outils.

Anthony Danneyrolle : parfois, les données, les études, la montée en compétence proviennent d'autres sources que des élus et autres responsables de la ville. A Reims, par exemple, ce sont les viticulteurs qui ont développé des études sur le changement climatique, parce qu'ils estimaient en avoir besoin pour se projeter dans leur activité.

Marjorie Musy : Certaines collectivités commencent à être conscientes de l'importance des besoins en compétences. Lors des programmes POPSU et de la mise en place d'un Observatoire sur ces questions, lorsqu'on appelait des collectivités pour leur demander si elles voulaient venir partager sur ces sujets (îlots de chaleur urbains etc.), pour la première fois, certaines ont demandé si elles pouvaient venir accompagnées d'un chercheur – alors que c'était même la règle du jeu... Donc en effet, les actions se sont développées davantage dans les villes qui ont pris conscience des enjeux et se sont équipées en compétences, internes et/ou externes – dont chercheurs. Sinon, les agences d'urbanismes se tournent vers des outils qui se basent sur des mesures trop limitées (exemple, la température a été mesurée à 15h et le résultat est pris comme base moyenne) ; les écarts entre les modèles et les réalités constatées ont été de mauvaises surprises pour les collectivités, qui maintenant ont peur.

Commentaire (?) : Certaines collectivités peuvent aussi avoir des compétences, mais qui restent très « silotées » et donc difficiles à utiliser.

M. Matlosz : Pouvons-nous identifier des angles morts, des besoins sur lesquels il faudrait investir davantage ?

M. Musy : En 2017, j'ai fait une feuille de route complète pour l'ADEME, avec tous les besoins dans ce domaine : mesures, simulations, capitalisation...

M. Matlosz : La question est aussi de savoir comment on structure ces données pour répondre aux besoins du plus grand nombre : chercheurs, spécialistes, élus et professionnels de la ville... J'avais été frappé par la difficulté à définir comment la donnée a été générée. Si les données ne sont pas présentées avec des informations sur leurs conditions de production, alors elles ne sont pas d'une grande utilité, faute de reproductibilité, puisqu'on a vu que les résultats pouvaient varier considérablement selon ces conditions de production (capteur placé à un endroit ou un mètre plus loin, selon qu'il y a du soleil ou non ce jour-là ou à cet endroit précis, etc.). Sans ces informations, on pourrait même dire qu'il serait contre-indiqué de rassembler des données, tant elles risquent de ne pas être pertinentes...

Nadège Bouquin : on retrouve les problématiques rencontrées lorsque le GT avait travaillé sur l'ACV : qualité, pertinence, organisation et partage des données, etc. – des enjeux clés puisque toute la suite des processus de décision et d'action se base sur les résultats obtenus.

Anne Ruas : En effet, en métrologie, les spécialistes savent que les températures peuvent varier considérablement à 1,5 m près, selon les conditions locales. Mais la communauté de chercheurs et experts concernés est encore très réduite, alors que les besoins d'améliorer les mesures, sur de nombreux paramètres, deviennent de plus en plus importants. Les données ne sont pas assez riches au départ, avec par exemple ces lacunes d'information concernant les conditions de production, conduisant à des approximations qui ne permettent plus de répondre aux besoins actuels. On passe alors beaucoup de temps à essayer de compléter ces données insuffisantes. Le besoin sociétal a évolué, il y a de nouvelles questions qu'on ne se posait pas auparavant ; mais les compétences disponibles sont encore limitées pour faire face à ces besoins de données plus spécifiques, plus nombreuses, mieux exploitées. Il faut former davantage.

Sylvain Riss : Il y a aussi un problème de diffusion des connaissances existantes, de valorisation pour un meilleur accompagnement des experts et acteurs. Dans les bureaux d'ingénierie et d'aménagement, on a peu de temps donc il serait utile d'avoir les bonnes sources, les bonnes pratiques. Il y a là deux mondes à rapprocher, à relier.

Gilles Betis : Tout à fait d'accord. Le fait de transformer ces en outils scientifiques en outils opérationnels d'ingénierie est très important. Pour nous, institut de recherche au sein d'une école d'ingénieurs, c'est clairement un axe de recherche en soi. Derrière cela, les enjeux sont importants :

cette donnée devient de l'information, de la connaissance, de la compréhension et in fine, de la décision. Il faut donc se demander comment mettre ces outils dans un contexte qui les rend utilisables par des parties prenantes très diverses, des chercheurs jusqu'à la société civile : une diffusion à 360° est nécessaire puisqu'il s'agit de sujets essentiellement sociétaux.

On en arrive à des questions telles que des jumeaux numériques par exemple. Mais plus largement, l'enjeu est d'avoir une approche vraiment systémiques, qui ne se limite pas aux sciences « techniques » mais inclut les sciences humaines et sociales. On voit qu'on sort du cadre très vite, ça devient très ambitieux. Parmi les questions fondamentales évoquées aujourd'hui :

- Validation des modèles
- Structuration des données
- Formation pour les collectivités territoriales, les acteurs urbains

*Clarisse Angelier* : les équipes de métrologie ont l'habitude de fonctionner dans des conditions comparables, plus ou moins stables, avec un certain rejet ou du moins une maîtrise de l'instabilité. Là, sont posées des questions de variabilité de capteurs peut-être, ou en tout cas de conditions de mesure, mais cela peut renvoyer à des problématiques de recherche de métrologie. Il y a sans doute à sensibiliser la communauté à cet enjeu des conditions de mesure qui peuvent poser question.

## CONCLUSION

Michael Matlosz remercie les participants, et donne rendez-vous à tous pour la prochaine réunion (R3), sur le sujet des **eaux urbaines, aura lieu le 23 avril, de 14h à 16h30.**

Attention, la 4<sup>ème</sup> réunion (Sols urbains) a été déplacée depuis au **lundi 17 juin de 14h à 16h30.**

## Participants à la réunion

Nom	Prénom	Organisation
<i>En présentiel</i>		
ANGELIER	Clarisse	ANRT
BETIS	Gilles	ESTP
BOUQUIN	Nadège	ANRT
DANNEYROLLE	Anthony	ARTELIA
LE MEUR	Stéphanie	KARDHAM
MATLOSZ	Michael	Université de Lorraine ANRT
MUSY	Marjorie	CEREMA
RISS	Sylvain	WSP / BG INGENIEURS CONSEILS
RUAS	Anne	ANR
SARTELET	Karine	Ecole des Ponts ParisTech
VALLERENT	Stéphanie	ACTIERRA
<i>En distanciel</i>		
ALAMELLE	Fanny	CNRS IMM-FR3479
ALFARÉ	Aurélien	Reveleo
ALONSO	Lucille	Actierra
AMOSSÉ	Joël	Cerema
BARNES-DAVIN	Laury	Vicat
BOUSSOUSSOU	Mathieu	Kardham
DENEFLÉ	Sylvette	Aix Marseille Université
DERRAS	Mustapha	Berger-Levrault
DROGUE	Gilles	Université de Lorraine
EPIFANIE	Lison	BDCO
FUGIER	Pascal	CEA
GAUDART-BRUNET	Delphine	Communauté d'Agglomération de La Rochelle
GOSSELIN	Flovic	Université Catholique de Lille
IDIR	Rachida	Cerema
JAVIERRE	Isabelle	Holcim Innovation Center
MILLAN	Caroline	COLAS SA
PAYRE	Camille	EIFER
SAUTEREAU	Karine	Centre Inffo
SENET	Stéphanie	AEF info
SINSIN	Tudal	Altereo